

CLAUDIA PEREIRA KRUEGER

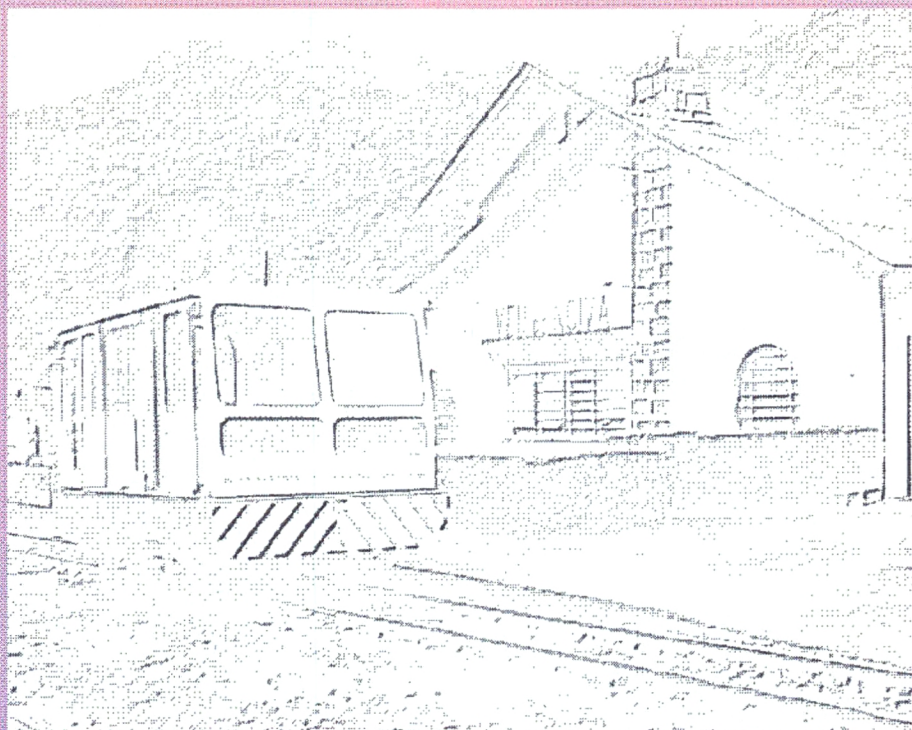
POSICIONAMENTO CINEMÁTICO DE TRENS

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientadores: Prof. Dr. Milton de Azevedo Campos
Prof. Dr. Günter Seeber

CURITIBA
1994

CLAUDIA PEREIRA KRUEGER

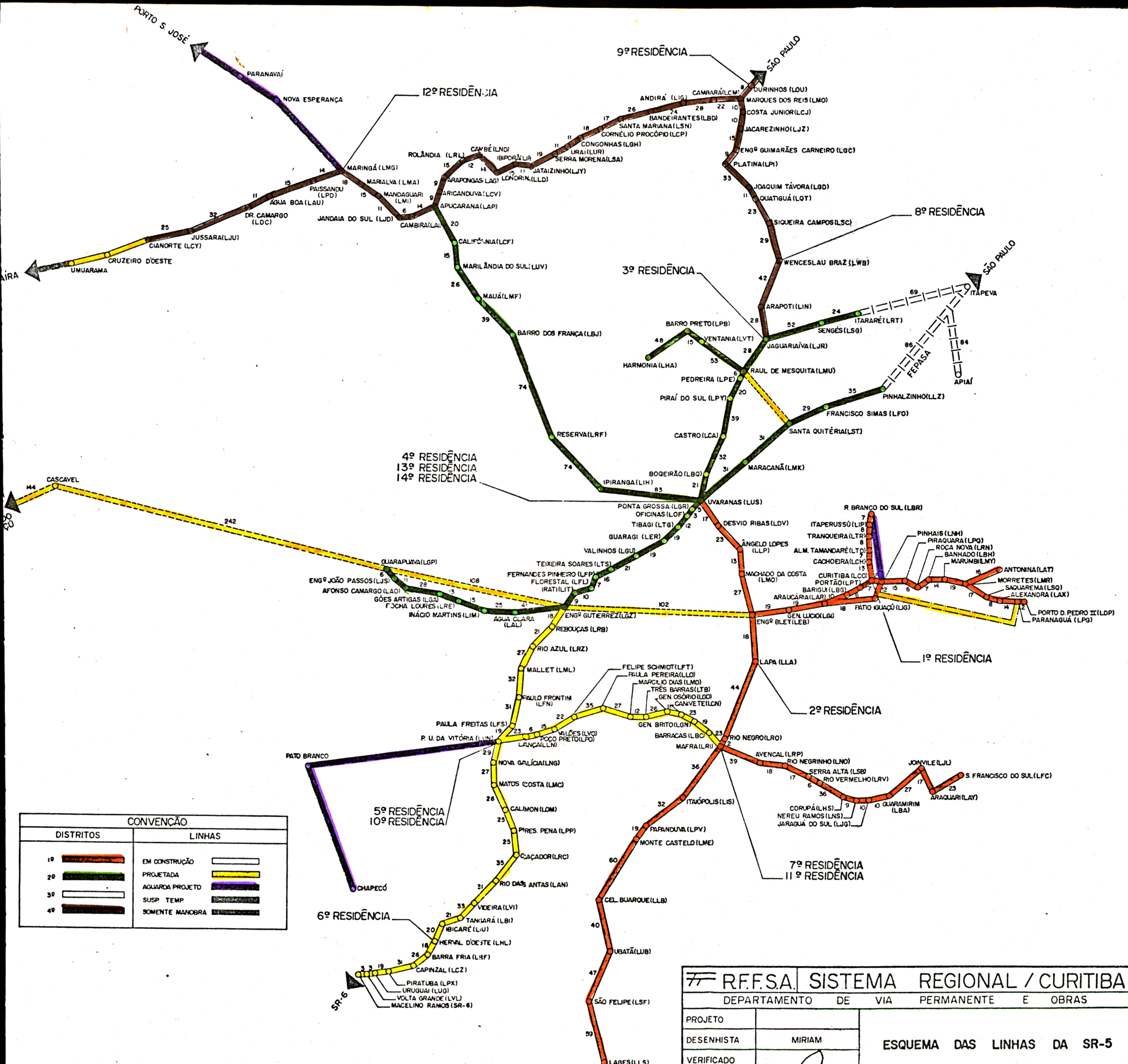


POSICIONAMENTO CINEMÁTICO DE TRENS

Dissertação apresentada
como requisito parcial à
obtenção do Grau de Mestre.
Curso de Pós-Graduação em
Ciências Geodésicas,
Setor de Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná.

Orientadores: Prof. Dr. Milton Campos
Prof. Dr. Günter Seeber

Curitiba
1993



CONVENÇÃO	
DISTRITOS	LINHAS
1º	EM CONSTRUÇÃO
2º	PROJETADA
3º	AGUARDANDO PROJETO
4º	SUSP. TEMP.
5º	SOMENTE MANOBRAS

R.F.F.S.A. SISTEMA REGIONAL / CURITIBA				
DEPARTAMENTO DE VIA PERMANENTE E OBRAS				
PROJETO		ESQUEMA DAS LINHAS DA SR-5		
DESENHISTA	MIRIAM			
VERIFICADO				
VERIFICADO				
VISTO				
DATA	27/10/80	ESCALA	DESENHO Nº 2.886	FL. TUB.

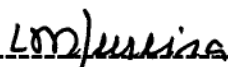
CLÁUDIA PEREIRA KRUEGER

POSICIONAMENTO CINEMÁTICO DE TRENS

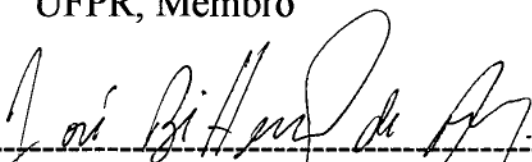
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Prof. Dr. Milton de Azevedo Campos
UFPR, Orientador



Prof. Dr. Luis Danilo D. Ferreira
UFPR, Membro



Prof. Dr. José Bittencourt de Andrade
UFPR, Membro

Curitiba, 10 de janeiro de 1994

Dedico esta dissertação aos meus pais, a meu irmão e a todos os meus mestres que contribuíram na minha formação levando ao meu crescimento.

AGRADECIMENTOS

Inúmeros são os agradecimentos a serem feitos.

Inicialmente gostaria de agradecer aos meus pais pelo apoio e incentivo demonstrado durante a elaboração desta dissertação, e ao meu irmão pelo apoio na impressão desta.

Ao professor Dr. Milton de Azevedo Campos pelos conselhos, sugestões, idéias, apoio e motivação durante o desenvolvimento da mesma.

Ao professor Dr. Günter Seeber pela orientação, apoio, idéias e incentivos recebidos, bem como, pela doação do programa GEONAV.

A GEOSPACE, em especial ao Dr. G. Wübbena, pelo apoio e empréstimo do programa GEONAP-K para o pós-processamento dos dados.

Ao estudante Volker Böder do Institut für Erdmessung - Hannover, que participou ativamente por 3 meses no desenvolvimento prático deste trabalho.

Gostaria de agradecer aos estagiários Maurício, Franco, James, Roberto e Everton pelo auxílio nos levantamentos de campo.

Ao Eng. Msc. Júlio Menezes pelo apoio na parte computacional.

A todos os engenheiros e funcionários da Rede Ferroviária Federal S.A. que contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

A empresa Ambriex S.A. pelo empréstimo e esclarecimentos quanto aos equipamentos DGPS, sem honorários, durante três meses.

A todos os amigos e colegas que contribuíram direta ou indiretamente na elaboração desta dissertação, bem como àqueles que forneceram palavras de incentivo durante o desenvolvimento desta.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	V
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE GRÁFICOS	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XIV
RESUMO	XVI
ABSTRACT	XVII

INTRODUÇÃO	1
------------	---

CAPÍTULO 1

1.1 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)	3
1.2 SISTEMA DIFERENCIAL DE POSICIONAMENTO GLOBAL (DGPS)	13
1.2.1 INTRODUÇÃO	13
1.2.2 PRINCÍPIO	17
1.2.3 EQUAÇÃO FUNDAMENTAL	22
1.2.3.1 POSICIONAMENTO ABSOLUTO	23
1.2.3.2 POSICIONAMENTO RELATIVO	25
1.2.4 ERROS NO SISTEMA	28
1.2.4.1 ESTADO DO RELÓGIO DO SATÉLITE EM RELAÇÃO AO TEM-PO GPS	28
1.2.4.2 ESTADO DO RELÓGIO DO RECEPTOR EM RELAÇÃO AO TEM-PO GPS	30
1.2.4.3 DISPONIBILIDADE SELETIVA	31
1.2.4.4 EFEITO MULTICAMINHO	32
1.2.4.5 PROPAGAÇÃO NA ATMOSFERA	34
1.2.4.5.1 REFRAÇÃO TROPOSFÉRICA	35
1.2.4.5.2 REFRAÇÃO IONOSFÉRICA	37
1.2.4.6 EFEMÉRIDES	38
1.2.4.7 RUÍDO NO RECEPTOR	42
1.2.5 OBSERVAÇÕES DA FASE DO CÓDIGO ALISADA PELA PORTADORA	43
1.2.6 EQUIPAMENTOS	45
1.2.6.1 RECEPTORES	45
1.2.6.2 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	48
1.2.7 FORMATO PARA A TRANSFERÊNCIA DE DADOS NO DGPS	49
1.2.7.1 RECOMENDAÇÕES PARA A MENSAGEM E FORMATO DOS DADOS	50
1.2.7.2 RECOMENDAÇÕES PARA O SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	58
1.2.7.3 RECOMENDAÇÕES PARA PSEUDO-SATÉLITE (PSEUDOLITE)	59

1.2.8	SISTEMA DE COMUNICAÇÃO DGPS	60
1.2.8.1	PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NA ATMOSFERA	62
1.2.8.2	COMUNICAÇÃO COM FAIXA DE FREQUÊNCIA BAIXA (LF) E MÉDIA (MF)	63
1.2.8.3	COMUNICAÇÃO COM FAIXA DE FREQUÊNCIA ALTA (HF)	64
1.2.8.4	COMUNICAÇÃO COM FAIXA DE FREQUÊNCIA MUITO ALTA (VHF) E ULTRA-ALTA (UHF)	65
1.2.8.5	COMUNICAÇÃO COM SATÉLITES MOVEIS - FAIXA L DE 1GHz A 2GHz	66
1.2.9	APLICAÇÕES	69
1.2.9.1	MONITORAMENTO DE FROTAS DE CAMINHÕES	70
1.2.9.2	MELHORAMENTO DO SISTEMA DE EMERGÊNCIA QUANTO AO VAZAMENTO DE GASES E ÓLEOS	71
1.2.9.3	MELHORAMENTO NO SISTEMA DE TRÂNSITO	72
1.2.9.4	LEVANTAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO	72

CAPÍTULO 2

2.1	SISTEMA HOJE EXISTENTE NA RFFSA	74
2.2	NECESSIDADES E JUSTIFICATIVAS DA MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA	82

CAPÍTULO 3

3	POSICIONAMENTO CINEMÁTICO DE TRENS	85
3.1	PRINCÍPIO	85
3.2	EQUIPAMENTOS	86
3.2.1	RECEPTORES TRIMBLE SST	87
3.2.2	RECEPTORES TRIMBLE DGPS 4000 RL/DL	87
3.2.3	SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	90
3.2.3.1	RÁDIOS MOTOROLA	90
3.2.3.2	MODENS	91
3.2.3.3	ANTENAS	92
3.2.4	COMPUTADORES	94
3.2.4.1	LAPTOP TOSHIBA - T5200	94
3.2.4.2	HEWLETT PACKARD - HP VECTRA 486/33T	94
3.3	LEVANTAMENTO DE CAMPO	97
3.3.1	1ºLEVANTAMENTO ESTÁTICO	98
3.3.2	1ºLEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE FER1 A FER2	99
3.3.3	1ºLEVANTAMENTO CINEMÁTICO DE FER1 A FER2	102
3.3.4	2ºLEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE FER1 A PINHAIS	102
3.3.5	3ºLEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE FER1 A MORRETES	103
3.3.6	2ºLEVANTAMENTO ESTÁTICO DE FER1 A FER3	103
3.3.7	4ºLEVANTAMENTO DIFERENCIAL FER3 A VÉU DE NOIVA	104

3.3.8	3ºLEVANTAMENTO ESTÁTICO DE UFPr À ADM1	106
3.3.9	5ºLEVANTAMENTO DIFERENCIAL ESTAÇÃO IGUAÇU A BANHADO	107
3.3.10	6ºLEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE PINHAIS A PORTO DE CIMA	107
3.3.11	4ºLEVANTAMENTO ESTÁTICO DO PARA A BAN1	108
3.3.12	7ºLEVANTAMENTO DIFERENCIAL DA RODOFERROVIÁRIA A OSÓRIO DE ALMEIDA	108
3.3.13	8ºLEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE PINHAIS A BANHA-DO	108
3.4	PROGRAMAS UTILIZADOS	109
3.4.1	GEONAV	109
3.4.2	GEONAP	111
3.4.3	TRIMVEC	112
3.4.4	TRIMTR	113
3.4.5	TROCFORM	113

CAPÍTULO 4

4	PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	114
4.1	LEVANTAMENTOS ESTÁTICOS	114
4.1.1	1ºLEVANTAMENTO ESTÁTICO	114
4.1.2	2ºLEVANTAMENTO ESTÁTICO	117
4.1.3	3ºLEVANTAMENTO ESTÁTICO	117
4.1.4	4ºLEVANTAMENTO ESTÁTICO	118
4.2	LEVANTAMENTOS DIFERENCIAIS	118
4.2.1	LEVANTAMENTO DE FER1 A FER2	118
4.2.2	LEVANTAMENTO DE FER1 A PINHAIS	122
4.2.3	LEVANTAMENTO DE FER1 A MORRETES	127
4.2.4	LEVANTAMENTO DE FER3 A VÉU DE NOIVA	129
4.2.5	LEVANTAMENTO DE IGUAÇU A BANHADO	136
4.2.6	LEVANTAMENTO DE PINHAIS A PORTO DE CIMA	140
4.2.7	LEVANTAMENTO DE PINHAIS A BANHADO	143

CAPÍTULO 5

5	TESTES NO SISTEMA DGPS	147
5.1	"AGE LIMIT"	147
5.2	CANAL DO RÁDIO	150
5.3	TAXA DE TRANSMISSÃO DOS DADOS	150

CAPÍTULO 6

6	CONCLUSÕES	152
ANEXO 1	- ESQUEMA DAS LINHAS DA SR-5	154
ANEXO 2	- INFORMAÇÕES OBTIDAS NO CCO	156
ANEXO 3	- TRIMTR	161
ANEXO 4	- TROCFORM	164
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	166

LISTA DE FIGURAS

1	Sistema de Posicionamento Global Configuração com os 21 Satélites	3
2	Princípio Básico de Posicionamento com o GPS	5
3	Estrutura dos Sinais GPS	7
4	Erros Comuns no Sistema GPS	8
5	Posicionamento Relativo	9
6	Métodos de Posicionamento	15
7	Sistema DGPS	19
8	Esquema da Estação de Referência DGPS	22
9	Esquema da Estação Móvel DGPS	22
10	Escala de Tempo em Geodésia Celeste	29
11	Influência do SA nos Dados GPS	32
12	Efeito do MultiCaminho	33
13	Efeitos do Erro Orbital	40
14	Receptores 4000 RL e DL - TRIMBLE NAVIGATION	47
15	Sensor Acutis DGPS - TRIMBLE NAVIGATION	47
16	Equipamento ICC - TRIMBLE NAVIGATION	48
17	Formato da Mensagem Geral	51
18	Formato da Mensagem Tipo 01	53
19	Formato da Mensagem Tipo 03	56
20	O Espectro Eletromagnético	60
21	Propagação das Ondas Eletromagnéticas na Atmosfera	62
22	Onda Direta	65
23	Esquema das Linhas da SR-5	75
24	Esquema de uma Estação	77
25	O Aparelho Magneto	79
26	Operador Requisitando a Liberação do Trem à Esta- ção Seguinte	80
27	Entrega do Póde ao Maquinista	81
28	Sistema DGPS no Trem	86
29	Sistema DGPS - 4000 RL/DL	86
30	Painel da Frente - Receptor 4000 RL/DL	89
31	Painel de Trás - Receptor 4000 RL/DL	90
32	Rádio M 208 - Motorola	90
33	Modem BDLC	91
34	Modem MRM	92
35	Antena do Sistema de Comunicação	93
36	Sistema DGPS na Estação de Referência	95
37	Esquema de Montagem DGPS - 4000 RL-II	95
38	Sistema DGPS na Estação Móvel	96

39	Esquema de Montagem DGPS - 4000 DL-II	96
40	Motor com as Antenas	100
41	Antena Cinemática sobre o Ponto FER1	101
42	Estação de Referência FER3	104
43	4º Levantamento Diferencial	105
44	Estação de Referência - ADM1	106
45	Concepção do GEONAV	110
46	Fluxograma do GEONAP	112

LISTA DE TABELAS

1	Características do GPS	4
2	Principais Características das Fases do Código e Portadora	6
3	Erro Orbital para Erro da Linha Base = 1cm	41
4	Precisão x Erro Orbital	41
5	Ruído x Comprimento da Onda	42
6	Influência dos Erros no DGPS	43
7	Tipos de Mensagens	52
8	Denominação das Faixas de Frequência	61
9	Levantamentos Realizados	98
10	Resultados Obtidos - 1º Levantamento Estático	115
11	Diferenças entre os Programas Utilizados	116
12	Coordenadas de FER1 e FER2 com o GEONAP-S	116
13	Coordenadas de FER3 com o TRIMVEC	117
14	Coordenadas ADM1 com o TRIMVEC	117

LISTA DE GRÁFICOS

1	Usuários do Sistema GPS	10
2	Métodos de Utilização do GPS	10
3	Levantamentos Terrestres	11
4	Levantamentos Aéreos	12
5	Levantamentos Marítimos	12
6	Variação da Refração Troposféricas x Altura do Satélite	36
7	Visibilidade dos Satélites e Informações sobre as Perdas de Ciclos em FER1	119
8	Visibilidade dos Satélites e Informações sobre as Perdas de Ciclos no Trem	120
9	Trajetória descrita de FER1 a FER2 com os Dados Brutos	121
10	Trajetória descrita de FER1 a FER2 com o GEONAV	122
11	Visibilidade dos Satélites e Informações sobre as Perdas de Ciclos em FER1	123
12	Visibilidade dos Satélites e Informações sobre as Perdas de Ciclos no Trem	123
13	$\phi \times \lambda$ para Levantamento de Parque Iguaçu a Pinhais	124
14	$\Delta\phi, \Delta\lambda$ e Δh em Função do Tempo para os Dados Brutos	125
15	$\Delta\phi, \Delta\lambda$ e Δh em Função do Tempo com o GEONAV	126
16	$\Delta\phi, \Delta\lambda$ e Δh em Função do Tempo com o GEONAP	127
17	Visibilidade dos Satélites e Informações sobre as Perdas de Ciclos em FER1	128
18	Visibilidade dos Satélites e Informações sobre as Perdas de Ciclos no Trem	129
19	Pontos com Correções Diferenciais para a Trajetória de FER3 a Véu de Noiva $\phi \times \lambda$	130
20	Pontos com Correções Diferenciais para a Trajetória de FER3 a Véu de Noiva - $\Delta\phi, \Delta\lambda$ e $h f(t)$	131
21	Pontos sem Correções Diferenciais para a Trajetória de FER3 a Véu de Noiva $\phi \times \lambda$	132
22	Pontos sem Correções Diferenciais para a Trajetória de FER3 a Véu de Noiva $\Delta\phi, \Delta\lambda$ e $h f(t)$	133
23	Superposição dos gráficos 20 e 22 para a Trajetória de FER3 a Véu de Noiva	134
24	Detalhe a do Gráfico 23	135
25	Visibilidade dos Satélites e Informações sobre as Perdas de Ciclos em ADM1	136

26	Visibilidade dos Satélites e Informações sobre as Perdas de Ciclos no Trem	137
27	Trajectoria Descrita da Estação Iguaçu a Banhado Obtida com o GEONAV	138
28	$\Delta\phi, \Delta\lambda$ e Δh obtido com o GEONAV para o Levantamento da Estação de Iguaçu a Banhado	139
29	Pontos com Correções - Pinhais a Porto de Cima	140
30	Pontos sem Correções - Pinhais a Porto de Cima	141
31	Trajectoria Obtida com o GEONAV	142
32	Trajectoria Obtida com o GEONAV	143
33	Pontos com Correções - Ida	144
34	Pontos sem Correções - Ida	145
35	Pontos com Correções - Volta	145
36	Pontos sem Correções - Volta	146
37	Trajectoria Obtida com o GEONAV	146
38	Teste "Age Limit"	149

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/S	-ANTI-SPOOFING
AVL	-AUTOMATIC VEHICLE LOCATION
BDLC	-BASE STATION DATA LINK CONTROLLER
CCO	-CENTRO DE CONTROLE OPERACIONAL
CÓDIGO C/A	-CÓDIGO DE FÁCIL ACESSO
CÓDIGO P	-CÓDIGO DE PRECISÃO
DMC/PR	-DELEGACIA DO MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES NO PARANÁ
DGPS	-DIFFERENTIAL GLOBAL POSITIONING SYSTEM
DL	-DIFFERENTIAL LOCATOR
DOD	-US DEPARTMENT OF DEFENSE
DOS	-DISK OPERATING SYSTEM
GEONAP	-GEODETIC NAVSTAR POSITIONING
GEONAV	-GEODETIC NAVIGATION SOFTWARE
GEOSPACE	-GESELLSCHAFT FÜR SATELLITENGESTÜTZTE GEODÄTISCHE UND NAVIGATORISCHE TECHNOLOGIEN MBH
GPS	-GLOBAL POSITIONING SYSTEM
IBGE	-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
INMARSAT	-INTERNATIONAL MARITIME SATELLITE ORGANIZA- TION
IOD	-IDADE DOS DADOS

LEO's	-LOW-EARTH-ORBIT LARGE SATELLITE SYSTEMS
L1	-LINK 1 (SATELLITE SIGNALS)
L2	-LINK 2 (SATELLITE SIGNALS)
MRM	-MOBILE RADIO MODEM
NAVSTAR	-NAVIGATION SYSTEM WITH TIME AND RANGING
NMEA -0183	-NATIONAL MARITIME ELECTRONICS ASSOCIATION
NSWC	-US NAVAL SURFACE WEAPONS CENTER
ORBCOMM	-ORBITAL COMMUNICATIONS INC.
RAM	-RANDOM ACCESS MEMORY
RFFSA	-REDE FERROVIÁRIA FEDERAL S.A.
RINEX	-RECEIVER INDEPENDENT EXCHANGE FORMAT
RL	-REFERENCE LOCATOR
RTCM	-RADIO TECHNICAL COMMITTEE FOR MARINE SERVICE
SA	-SELECTIVE AVAILABILITY - DISPONIBILIDADE SELE- TIVA
SIG	-SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
SR - 5	-SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE CURITIBA
TUC	-TEMPO UNIVERSAL COORDENADO
USERE	-USER EQUIVALENT RANGE ERROR
UFPR	-UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
VAC	-VOLTS, AC
VDC	-VOLTS, DC
$\Delta\Phi$	-DELTA LATITUDE (ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA-MÓVEL)
$\Delta\lambda$	-DELTA LONGITUDE (ESTAÇÃO REFERÊNCIA-MÓVEL)
Δh	-DELTA ALTITUDE (ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA-MÓVEL)
Φ	-LATITUDE
λ	-LONGITUDE

RESUMO

O presente trabalho refere-se ao posicionamento cinemático de trens em tempo real utilizando o sistema DGPS.

Verificou-se a funcionalidade do mesmo, a fim de uma futura atualização do sistema operacional de controle ferroviário.

Para o seu desenvolvimento contou-se com o apoio da Rede Ferroviária Federal S/A - Superintendência Regional de Curitiba (SR5), Universidade Federal do Paraná e Universidade de Hannover - IFE.

ABSTRACT

This paper relates about kinematic positioning of trains in real time using differential global positioning system (DGPS).

It was verified the operationallity of this method looking for a future atualization of the monitoring railway system.

The development of this survey was supported by Rede Ferroviária Federal - Superintendência Regional de Curitiba (SR-5), Universidade Federal do Paraná e Universidade de Hannover - IFE.

INTRODUÇÃO

Visando atender às necessidades da Rede Ferro-viária Federal S/A, decidiu-se pelo desenvolvimento deste trabalho, o qual constituiu uma aplicação direta do sistema DGPS.

Tem por objetivo obter a posição do trem em tempo real, segundo a precisão desejada pela RFFSA - SR5.

Diversos levantamentos foram realizados a fim de se obter a melhor solução para o sistema.

No capítulo 1 é feita uma revisão sobre o sistema de posicionamento global e o sistema diferencial de posicionamento global. Tais revisões são necessárias, visto que este trabalho pode interessar aos leitores não ligados diretamente ao sistema GPS - NAVSTAR.

O capítulo 2 apresenta o sistema de controle atual dos trens na RFFSA, bem como o porque da necessidade da modernização deste sistema.

No capítulo 3, o princípio fundamental do sistema DGPS no posicionamento cinemático de trens é apresentado. Faz-se referência aos equipamentos utilizados, aos levantamentos desenvolvidos em campo e aos programas utilizados.

O capítulo 4 apresenta os principais processamentos realizados, bem como a análise dos resultados obtidos.

No capítulo 5, faz-se referência aos testes realizados no sistema DGPS, a fim de buscar uma melhor solução para o sistema.

O capítulo 6 apresenta as conclusões obtidas com o presente trabalho, bem como as recomendações a serem observadas na implantação do sistema DGPS.

CAPÍTULO 1

1.1) SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

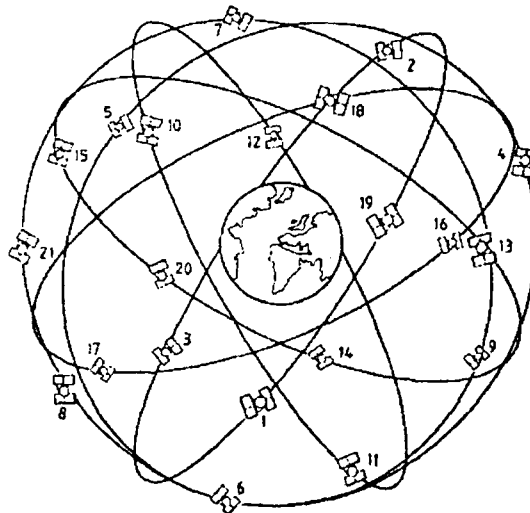
O sistema NAVSTAR - GPS (Navigation System with Time and Ranging - Global Positioning System) nasceu da junção das idéias de dois projetos: o TIMATION, da Marinha Americana, e o SYSTEM 621B, da Força Aérea Americana.

Desenvolvido pelo DNSS, ele é um sistema de navegação por sinais de rádio, baseado numa constelação de satélites artificiais.

Em 1993/94 este sistema estará em plena operação, com 24 satélites em órbita, três deles de reserva (figura 01).

FIGURA 01 Sistema de Posicionamento Global

Configuração com os 21 satélites



O objetivo deste sistema é proporcionar aos usuários sua posição tridimensional, navegação e informações sobre o tempo. Estará disponível para qualquer parte do mundo,

independentemente das condições meteorológicas, sendo possível observar-se simultaneamente pelo menos quatro satélites acima do horizonte, 24 horas por dia.

As características deste sistema NAVSTAR-GPS podem ser observadas na tabela 01.

TABELA 01 Características do GPS

CARACTERÍSTICAS	GPS
Altura Orbital	20.200 km
Período	12 h
Frequência	1575 MHz
	1228 MHz
Dados de Navegação	4D : X,Y,Z,t
	Velocidade
Disponibilidade	Contínua
Precisão	15 m (código P sem SA)
Geometria	Repetição
Relógios do Satélite	Césio e Rubídio
Constelação de Satélites	21 a 24

O princípio fundamental da navegação está baseado nas medidas de pseudodistâncias, aquelas compreendidas entre o usuário (antena) e o satélite .

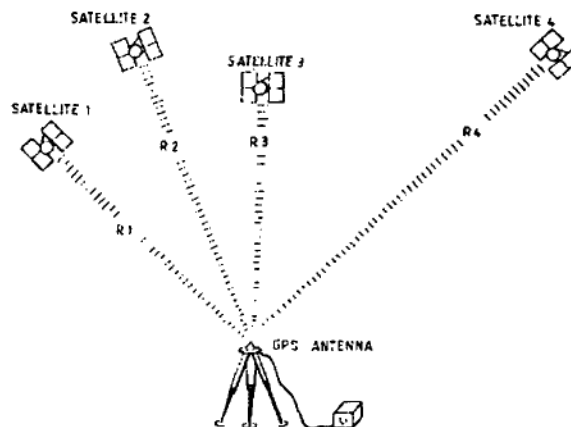
A posição geométrica de um ponto fica determinada pela medida de três pseudodistâncias, porém, faz-se necessário uma quarta medida devido à não-sincronização entre os relógios do

receptor e do satélite. Ainda é necessário que se conheça a posição dos satélites , ou seja, as suas órbitas.

As distâncias medidas são chamadas de pseudodistâncias devido ao fato de conterem uma incógnita : os erros do relógio dos satélites.

Pode-se observar o princípio básico deste posicionamento com o GPS na figura 02.

FIGURA 02 Princípio Básico de Posicionamento com o GPS



A fim de determinar as pseudodistâncias podem ser utilizadas duas observáveis básicas, os códigos e as portadoras. Os Códigos podem ser o Código P (Precisão) e o Código C/A (Fácil Aquisição). As Portadoras podem ser L1 e L2, geradas através da multiplicação eletrônica de uma frequência base de 10,23 MHz, produzida por relógios atômicos com estabilidade de $(10)^{-13}$. A Portadora L1 é modulada em fase pelos códigos P e C/A, e a Portadora L2 apenas pelo Código P.

As principais características e diferenças entre o código e a portadora estão citadas na tabela 02.

**TABELA 02 Principais Características das
Fases do Código e Portadora**

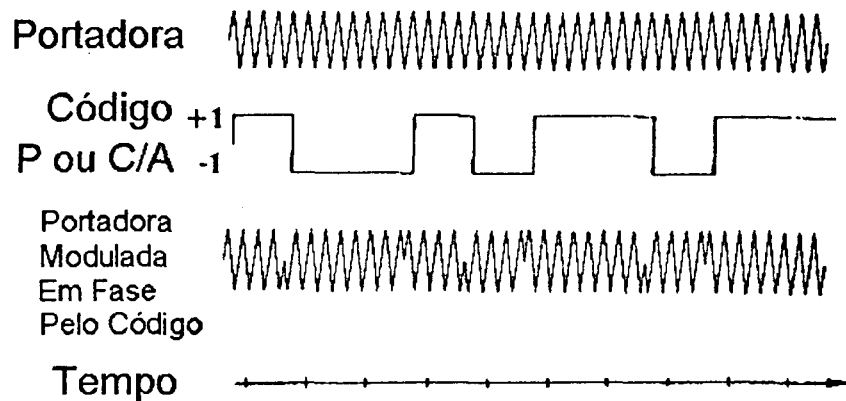
	Comprimento de onda	Nível do Ruído	Efeito da Propagação	Ambigüidade
CÓDIGO	P 29,3m C/A 293m	P 0,6 a 1m C/A 10m	Retardo na ionosfera	Unicidade
PORTADORA	L1 19,05cm L2 24,45cm	2 a 3 mm	Aceleração na ionosfera	Ambigüidades

Segundo a tabela 02, as observações da fase do código possuem um nível de ruído mais elevado do que a portadora. Porém, nesta última faz-se necessário a resolução das ambigüidades.

Os estudos desenvolvidos provaram que a escolha da observável (Código, Portadora, Portadora modulada em fase pelo código ou Combinação linear das portadoras) dependerá do fim a que se destina o trabalho, do custo e da precisão que se deseja obter.

Na figura 03, pode-se observar a estrutura dos sinais dos satélites GPS.

FIGURA03 Estrutura dos Sinais GPS



Nela está representada a estrutura da fase da portadora, do código e a modulação da fase da portadora com o código.

O sistema de posicionamento global teve uma grande aceitação e foi aplicado em diversos trabalhos geodésicos, pois pode ser utilizado de diferentes modos e com diferentes observáveis.

Quando os primeiros satélites foram lançados (Bloco I), podia-se obter uma precisão horizontal inferior a 30 m (95% de probabilidade) com um posicionamento absoluto, ou seja, com apenas um único receptor. Porém, o DNSS decidiu por uma nova política, que levou à degradação do sinal de navegação GPS. Denominada de Disponibilidade Seletiva - SA (IBGE), essa degradação introduz erros no sistema GPS, reduzindo a precisão. Introduzida em todos os satélites em operação em julho de 1991, ela foi, porém, desativada no dia seguinte, devido a crise do Golfo, e reativada em novembro de 1991 para

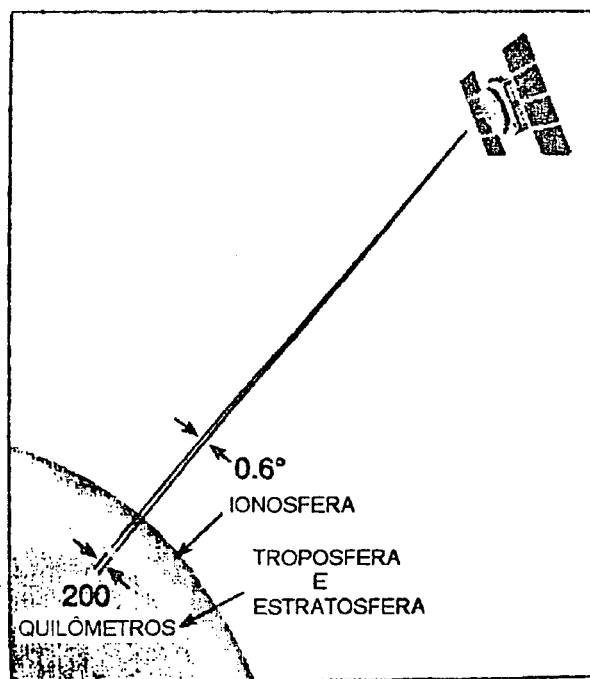
todos os satélites do Bloco II. Em presença deste SA, para um posicionamento absoluto, obtém-se uma precisão horizontal de 100m (95% de probabilidade).

Pode-se então concluir que a precisão da posição de um ponto para os usuários civis é mais limitada pelo SA, do que pela precisão das medidas dos receptores.

É claro que o sistema sofre a influência de erros sistemáticos, tais como: efeito da refração ionosférica e troposférica, erros orbitais e ruídos (figura 04). Então, a fim de obter uma maior precisão nos levantamentos é necessário tomar um outro caminho.

FIGURA 04 Erros Comuns no Sistema GPS

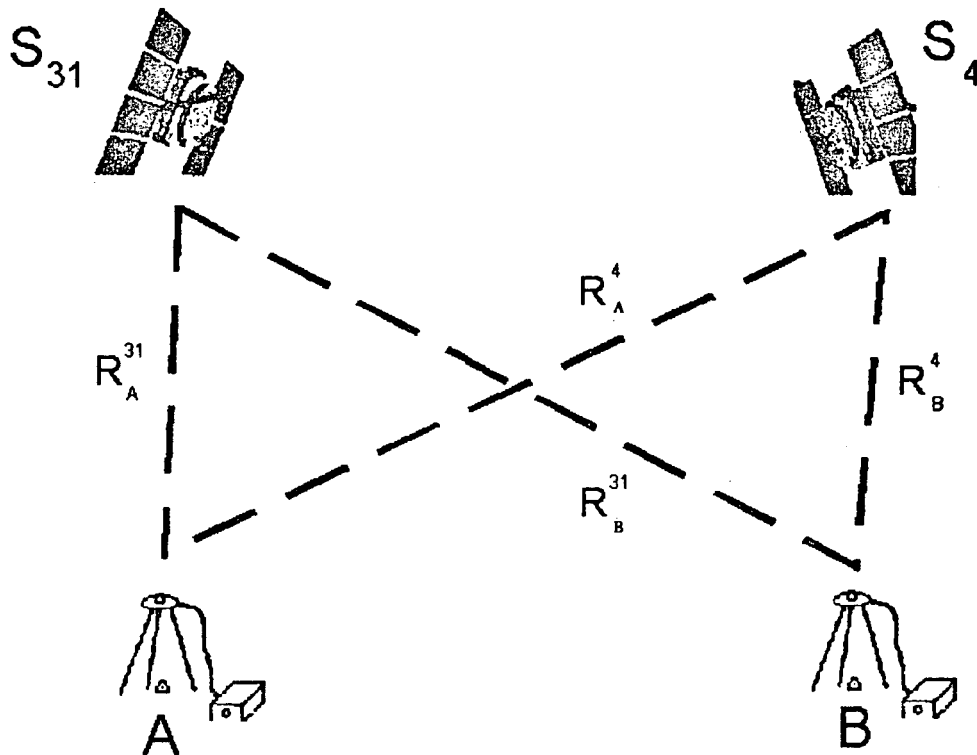
(Fonte: Langley, 1993)



Utilizando o modo relativo, ou seja, dois receptores rastreando ao mesmo tempo os mesmos satélites, ter-se-á erros

semelhantes (atmosféricos, dos relógios, das efemérides, efeitos do SA), conforme a figura 05.

FIGURA 05 Posicionamento Relativo

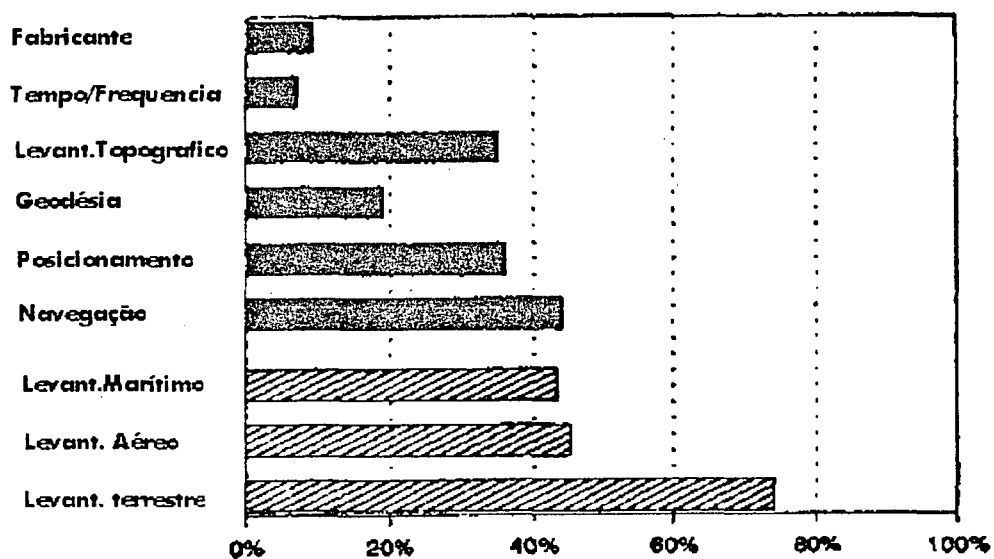


Neste caso costuma-se utilizar um dos receptores sobre um ponto de coordenadas conhecidas, o que é muito útil, pois consegue-se uma boa precisão.

Vale reafirmar que este sistema GPS teve e está tendo uma grande aceitação e aplicação na geodésia. O gráfico 01 demonstra o grande número de usuários deste sistema.

GRÁFICO 01 Usuários do Sistema GPS

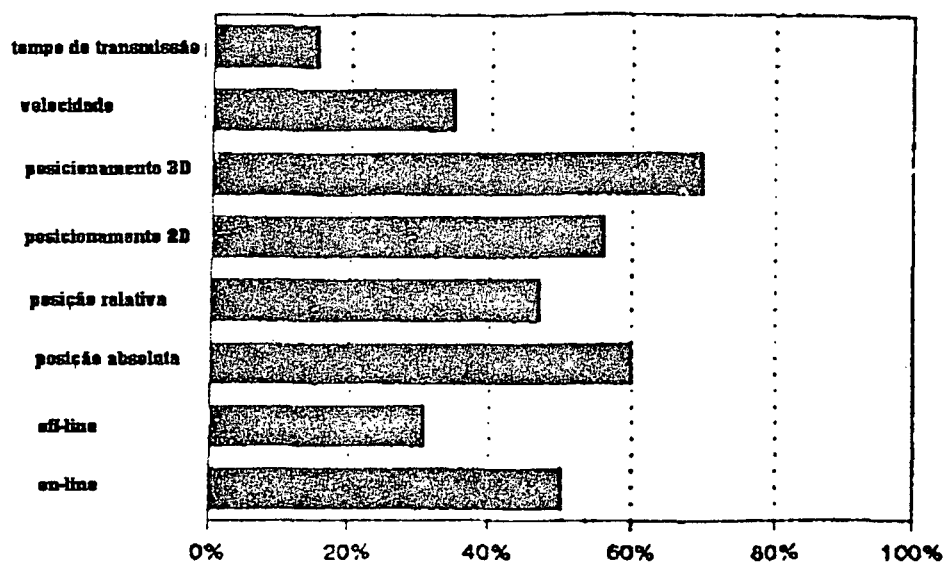
(do Studie des Deutschen Geodatischen Forschungsinstitutes - DGFI)



O gráfico 02, por sua vez, indica os métodos de utilização do sistema GPS.

GRÁFICO 02 Métodos de Utilização do GPS

(do Studie des Deutschen Geodatischen Forschungsinstitutes-DGFI)



As precisões desejadas por hidrólogos, geofísicos, geodestas e outros usuários são muito diferentes. Também as necessidades para as aplicações das técnicas GPS variam de metros à milímetros. Pode-se observar nos gráficos 03, 04 e 05 as precisões obtidas nos levantamentos com o GPS para usuários terrestres, aéreos e marítimos.

GRÁFICO 03 Levantamentos Terrestres

(do Studie des Deutschen Geodatischen Forschungsinstitutes)

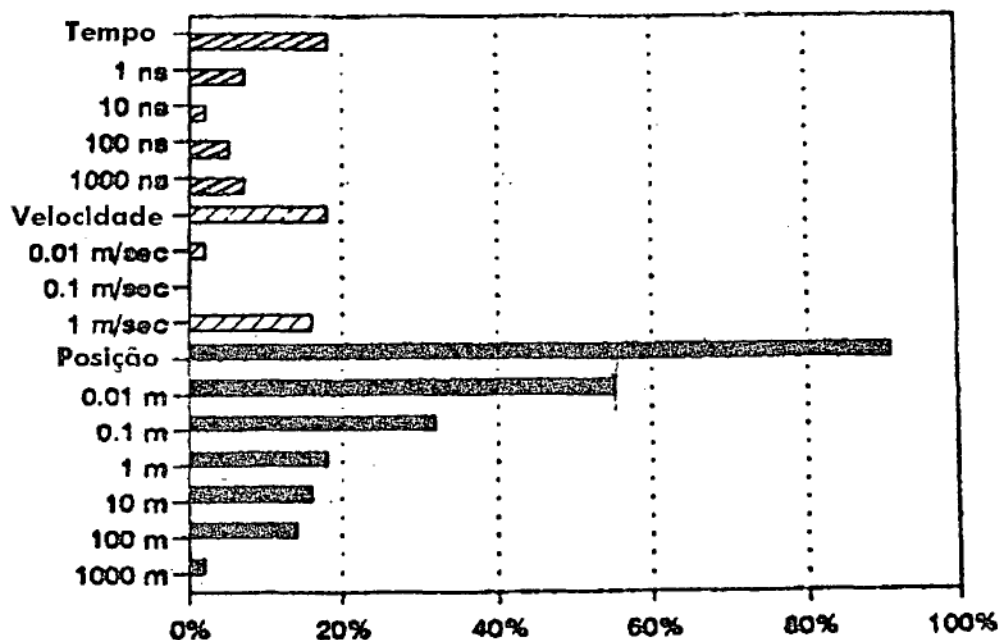


GRÁFICO 04 Levantamentos Aéreos

(do Studie des Deutschen Geodatischen Forschungsinstitutes)

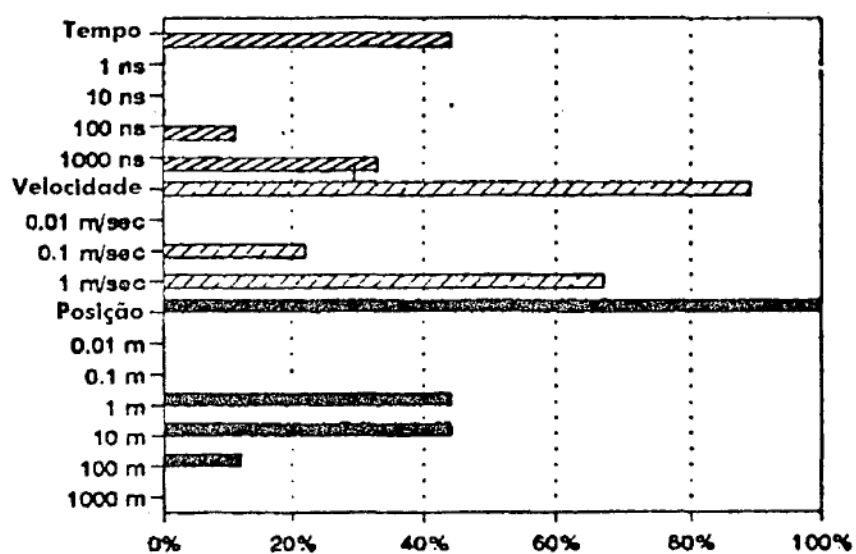
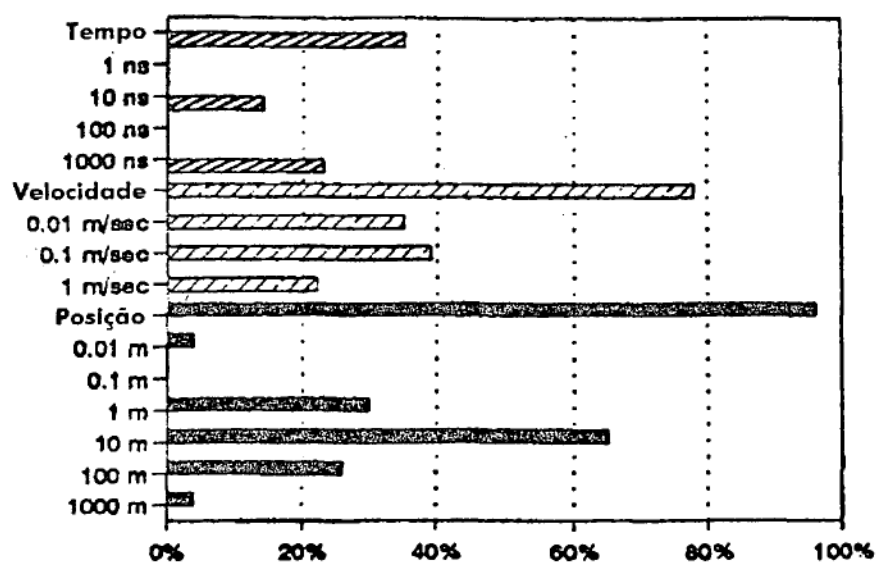


GRÁFICO 05 Levantamentos Marítimos

(do Studie des Deutschen Geodatischen Forschungsinstitutes)



Nos levantamentos terrestres(gráfico 03), obtém-se uma precisão em posição de 1 cm em cerca de 55% dos casos, em velocidade de 1m/s para 16% dos casos e em tempo de 1000ns para 7% dos casos. Nos levantamentos aéreos(gráfico 04) o domínio da precisão de posição localiza-se no intervalo de 1 a 10 metros em cerca de 44% dos casos, a velocidade de 1m/s em cerca de 67% dos casos e o tempo 1000ns para cerca de 33% dos casos. Já nos levantamentos marítimos(gráfico 05), o domínio de posição encontra-se em 10 metros para cerca de 65% dos casos , em velocidade de 0.1 m/seg para cerca de 39% dos casos e o tempo de 1000ns para cerca de 24% dos casos.

Este item procurou fornecer ao leitor uma visão ampla sobre o sistema GPS. Porém, para a obtenção de maiores detalhes ver Seeber (1993), Wübbena ¹ (1991), Spilker ¹ (1978), Andrade (1988), e Gemael (1991).

1.2) SISTEMA DIFERENCIAL DE POSICIONAMENTO GLOBAL (DGPS)

1.2.1) INTRODUÇÃO

Conforme o que foi dito na seção 1.1, a precisão da posição com o GPS pode variar substancialmente e os fatores que a influenciam devem ser do conhecimento do usuário. Os principais fatores que afetam a precisão são o tipo do equipamento GPS utilizado no levantamento e as técnicas de processamento.

¹ Citados por Seeber(1993) p. 216

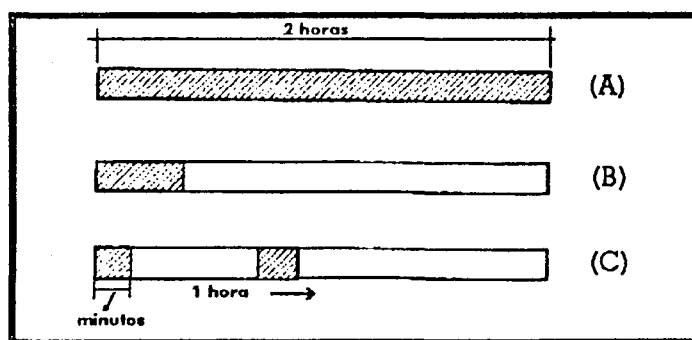
O caminho clássico para a obtenção das coordenadas de um ponto com precisão no GPS é a técnica estática. Segundo esta os receptores operam simultaneamente, recebendo os sinais de quatro ou mais satélites por 1 a 2 horas. É um método típico de posicionamento que possibilita uma precisão milimétrica. Ver Seeber (1993) e Kleusberg ¹(1990).

A fim de melhorar a eficiência na aquisição dos dados é que surge a técnica do levantamento cinemático. Diversos métodos têm sido criados e desenvolvidos nos levantamentos cinemáticos, como: estático rápido, semi-cinemático e cinemático puro. Eles têm recebido diferentes nomenclaturas, porém possuem o mesmo procedimento. Para uma melhor visão ver Kleusberg ¹(1990).

Basicamente estes métodos diferem quanto ao receptor que está em movimento. No método cinemático puro o receptor efetua as medidas durante o movimento e pode-se obter as coordenadas da trajetória. No método estático rápido o receptor pode ser desligado durante o transporte, obtendo-se apenas as coordenadas dos pontos sobre as quais a antena esteve posicionada. O método semi-cinemático ocupa uma posição intermediária, ou seja, o receptor deve manter o sinal durante o transporte, mas não se obtém as coordenadas derivadas da trajetória.

¹ Citado por Seeber (1993) p. 282

FIGURA 06 Métodos de Posicionamento



A figura 06 compara o método de posicionamento estático (A) e o método estático rápido (B e C) para a ocupação de um mesmo ponto. Fica demonstrado ainda que há dois modos de levantamento estático rápido, os quais diferem apenas quanto à resolução das ambigüidades ¹. No primeiro caso (B), onde a estação está ocupada como uma estação simples, resolve-se as ambigüidades como num levantamento estático clássico. Por exemplo, através da combinação do código e da fase da portadora ou através do rastreamento de seis ou mais satélites. No segundo caso (C), as ambigüidades podem ser resolvidas através de dados de configurações geométricas diferentes para cada ponto (método geométrico). Ver Wübbena ² (1989), Remondi ³ (1990) e Seeber (1993).

No método semi-cinemático tem-se que resolver as ambigüidades e transferi-las de uma estação para a outra; é comumente denominado de "Stop and Go". Geralmente a trajetória entre as estações não interessa aos

¹ Ambigüidade (N): É a incerteza do nº de ciclos inteiros entre o instante da transmissão e da recepção do sinal

² Citado por Seeber p. 283

³ Citado por Talbot p. 147

usuários, apenas as coordenadas dos pontos a serem determinados. O problema fundamental deste método é a inicialização ,ou seja, a determinação das ambigüidades iniciais. Mas para tal desenvolveram-se procedimentos de rápida inicialização, tais como: intercâmbio de antenas, ocupação de uma base conhecida ou determinação de uma linha de base com um levantamento estático, a fim de se estimar as ambigüidades inteiras. Para obter maiores detalhes sobre estes procedimentos, ver Cannon ¹(1990) e Hofmann-Wellenhof, Remondi ² (1988).

No método cinemático puro pode-se utilizar um dos procedimentos citados anteriormente, para a resolução das ambigüidades iniciais e mantê-las durante o percurso.

Porém, em certas aplicações, como nos levantamentos aéreos e marítimos, é impossível manter as ambigüidades durante o percurso, pois geralmente há perdas de sinal. Tais levantamentos requerem técnicas de inicialização estática independentes e a capacidade de recuperar os sinais resolvendo as ambigüidades durante o movimento. Estas técnicas dizem respeito às soluções de ambigüidades no ar ("on the fly") ou no percurso ("on the run"). Ver Seeber, Wübbena ³ (1989) e Abidin(1990).

Os métodos para resolução das ambigüidades quando o receptor está em movimento são:

¹ Citado por Talbot p. 147

² Citado por Seeber p. 286

³ Citado por Seeber p. 274

- combinação código/fase com dados de receptores com código P, utilizando a técnica da "wide lane",
- investigação da ambigüidade em função de seis ou mais satélites.

Todos estes métodos têm sido utilizados com sucesso em uma série de levantamentos de precisão. Porém, os resultados mais precisos do posicionamento têm sido alcançados através do pós-processamento dos dados, muito avançado com o desenvolvimento de programas sofisticados e científicos, como o Geonap-K.

Para alguns usuários do GPS (geofísicos;aplicações aéreas ,marítimas e terrestres) não é suficiente obter os dados apenas no pós-processamento. A este grupo de usuários interessa obter os dados em tempo real com um nível de precisão de 1 a 10 metros(vide gráficos 03 a 05). Mesmo sem o SA esta precisão não pode ser alcançada utilizando-se o método de simples observação pelo GPS. Um sistema de posicionamento cinemático diferencial é uma poderosa ferramenta para estas aplicações.

1.2.2) PRINCÍPIO

O sistema de posicionamento global diferencial (DGPS) pode ser definido como o posicionamento de uma estação móvel através das correções geradas na estação de referência.

A posição da estação móvel pode ser obtida em um pós-processamento ou em tempo real. A seleção depende da aplicação a que se destinam os dados obtidos. O pós-processamento é recomendado para as aplicações em que se deseja obter uma

melhor precisão, como por exemplo na obtenção de dados básicos para um sistema de informações geográficas (SIG). Neste caso utilizam-se os dados GPS registrados simultaneamente para a base e a estação móvel nos receptores. Os dados GPS são descarregados em um computador com programas apropriados.

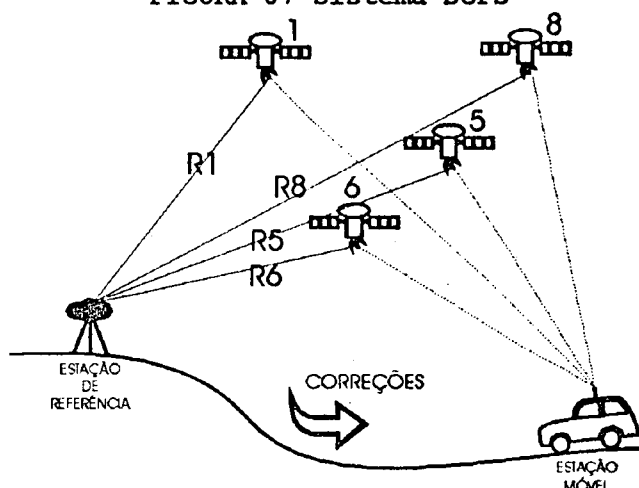
Porém, um grande número de usuários GPS tem interesse num sistema diferencial em tempo real, cuja precisão obtida é de 1 a 10 metros, como citado anteriormente. Neste as correções obtidas na estação de referência são enviadas à estação móvel.

Para realizar um levantamento com o sistema diferencial são necessários dois receptores. Posiciona-se um deles sobre um ponto de coordenadas conhecidas, o qual representará a nossa estação de referência, onde são geradas as correções. O outro receptor é posicionado sobre o móvel que se deseja navegar (navio, carro, caminhão, trem), chamado a partir de então de estação móvel.

Ao trabalhar em tempo real, as correções geradas na estação de referência são enviadas à estação móvel por um sistema de comunicação.

O sistema DGPS está representado na figura 07.

FIGURA 07 Sistema DGPS



Conforme se viu na seção 1.1, é necessário que os receptores recebam o mesmo sinal de pelo menos quatro satélites, para que se possa determinar a posição de um ponto (latitude, longitude e altitude). Ainda naquela seção, viu-se que é possível observar, de forma absoluta ou relativa, os códigos, as portadoras e as portadoras moduladas em fase pelos códigos.

Segundo Seeber, nos casos de navegação onde é usual a utilização do DGPS para obter uma precisão de 1 a 10 metros, faz-se necessário observações relativas com as portadoras suavizadas pelos códigos ou com as portadoras moduladas pelos códigos. No primeiro caso pode-se obter o posicionamento com uma precisão de 1 a 3 metros. No segundo com um 1 metro ou menos, porém é mais difícil obtê-lo em tempo real, pois é necessário uma ótima comunicação para a transmissão dos dados, um computador de boa capacidade e programa mais sofisticado.

As correções citadas anteriormente podem referir-se a correções das posições ou das pseudodistâncias. As correções de posição são o caminho mais fácil de utilizar-se no sistema

diferencial, porém os satélites devem ser rastreados por ambos os receptores simultaneamente, o que não impede uma degradação da precisão com o aumento da distância entre as estações (de referência e móvel). O modo de correções com pseudodistâncias é mais flexível e é usualmente aplicado nos levantamentos diferenciais. Ver Seeber (1993) e Hoppe(1992).

Com a utilização do modo de correções às pseudodistâncias, conforme sistema na figura 07, a estação de referência deverá ser capaz de calcular as pseudodistâncias para cada um dos satélites em vista, durante o rastreio. Como a posição desta estação é conhecida e introduzida no receptor, obtém-se as pseudodistâncias verdadeiras. As correções, então, são obtidas pela diferença entre as pseudodistâncias verdadeiras e as calculadas para cada um dos satélites. Estas são transmitidas a estação móvel, a qual está calculando as pseudodistâncias para os satélites visíveis; ao receber as correções, ela calcula a posição corrigida da estação móvel. Porém, todos estes passos devem ser concluídos dentro de milissegundos para que se obtenha a posição do receptor móvel dentro da precisão desejada . A maior vantagem deste modo é o fato de a estação móvel ser completamente livre para seleccionar os satélites na obtenção de sua posição.

Retomando o exposto anteriormente, é necessário o estabelecimento de uma comunicação entre as estações de referência e a móvel. As correções podem ser transmitidas através de um rádio de transmissão ,linha telefônica , ou

satélites de comunicação. Este assunto será tratado com maiores detalhes numa próxima seção deste capítulo.

Ainda quanto à direção da comunicação, pode-se ter um "up-link" ou "down-link". O usuário pode necessitar de um posicionamento com o DGPS na estação móvel, no centro de comando da frota ou em ambos, dependendo da aplicação a que se destina.

O "up-link" possibilita o posicionamento com o DGPS na estação móvel. Nesta situação o centro de comando da frota deve ter a estação de referência e um canal de rádio para a transmissão das correções às pseudodistâncias.

O "down-link" é um método que requer a transmissão de dados de cada estação móvel para o centro de comando. Neste método os dados são transmitidos em pacotes para a estação de comando, bem como os dados da estação de referência.

As correções, citadas anteriormente, se apresentam com um formato apropriado, definido pela "Radio Technical Committee for Marine Service - RTCM". Maiores detalhes sobre essa apresentação serão dadas em uma próxima seção.

Nas figuras 08 e 09 pode-se observar, através de esquemas, o princípio do sistema diferencial (DGPS) para a estação de referência e a estação móvel. Nelas levou-se em conta o sistema de comunicação.

FIGURA 08 Esquema da Estação de Referência - DGPS

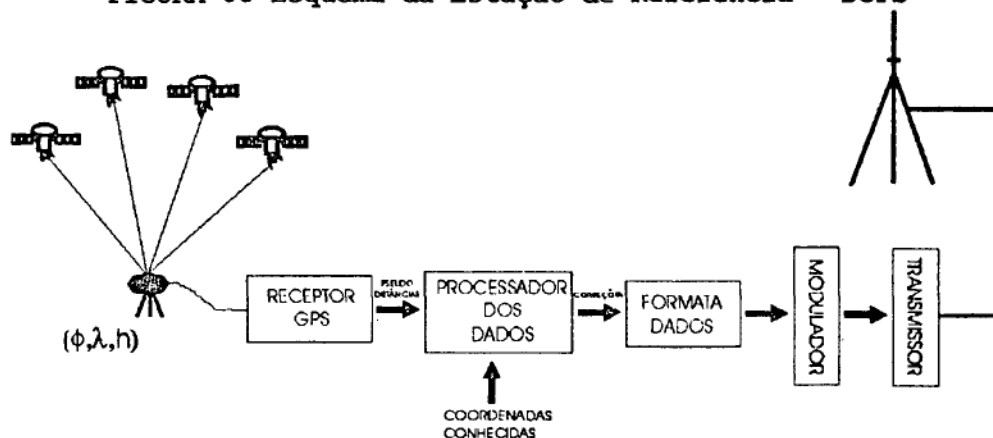
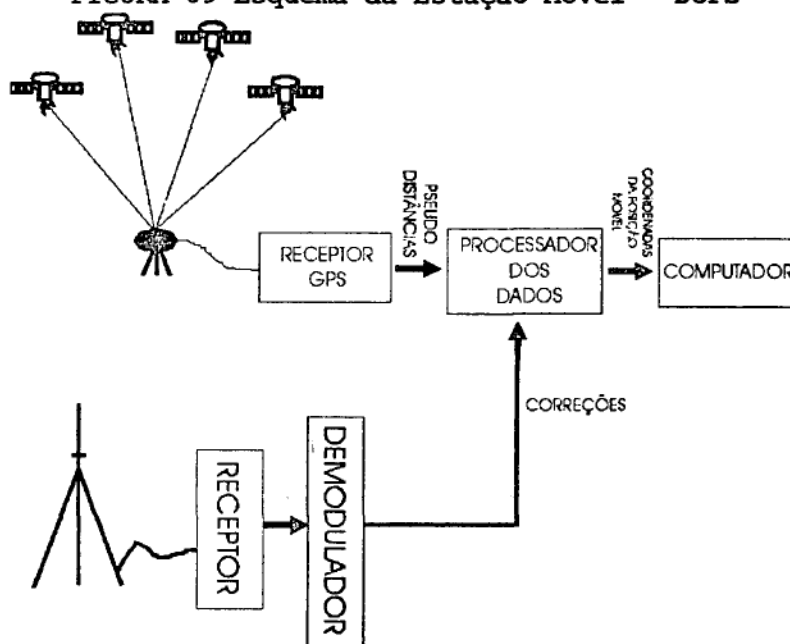


FIGURA 09 Esquema da Estação Móvel - DGPS



1.2.3) EQUAÇÃO FUNDAMENTAL

Segundo o que foi exposto na seção 1.1, pode-se efetuar um levantamento utilizando um posicionamento absoluto ou relativo. A escolha dependerá da precisão que se deseja obter. A seguir são apresentadas as formulações matemáticas para ambos os posicionamentos, utilizando a fase do código.

1.2.3.1) POSICIONAMENTO ABSOLUTO

Ainda conforme a seção 1.1, é necessária a medida de 4 distâncias (satélite ao usuário) para se obter a posição tridimensional do ponto, bem como, a incógnita quanto ao não sincronismo entre os relógios (receptor e satélite). Elas são denominadas pseudodistâncias (ver seção 1.1 , figura 02).

Para um sistema de posicionamento absoluto tem-se:

$$PR^{SV}_u = | \vec{R}^{SV}_u | + c\delta t^u(t) + \epsilon^{SV}_u \quad (01)$$

onde:

- PR^{SV}_u é a pseudodistância(distância do usuário ao satélite);
- \vec{R}^{SV}_u é a distância geométrica ou raio vetor da estação de referência ao satélite,

$$\vec{R}^{SV}_u = (x,y,z)^{SV} - (x,y,z)^u$$

$$\vec{R}^{SV}_u = [(x^{SV} - x^u)^2 + (y^{SV} - y^u)^2 + (z^{SV} - z^u)^2]^{1/2} \quad (02);$$

- c é a velocidade da luz no vácuo;
- $\delta t^u(t)$ é o estado do relógio do receptor em relação ao tempo GPS;
- ϵ^{SV}_u demais erros existentes (estado do relógio do satélite em relação ao tempo GPS, ionosfera, troposfera, ruído do receptor, efeito multi-caminho).

Ter-se-á uma série de equações de observação e a formação de dois vetores. O primeiro diz respeito ao vetor das observações (L) e o segundo ao vetor das incógnitas (X). Então tem-se:

$$L^o = [PR^1_u, PR^2_u, PR^3_u, PR^4_u, \dots, PR^n_u]^T \quad (03)$$

$$X = [X_u, Y_u, Z_u, \delta t_u]^T$$

Inúmeras são as técnicas que podem ser utilizadas para se efetuar um ajustamento das observações. No caso presente será utilizado um ajustamento pelo método dos mínimos quadrados e lineado o modelo através da fórmula de Taylor. Como já se sabe, esta requer valores aproximados para as incógnitas.

O sistema linearizado formado pela série de equações de observação é dado por:

$$L^o - L^c + V = AX \quad (04)$$

onde:

- **A** é a matriz das derivadas parciais das pseudodistâncias com respeito às incógnitas. Ela apresenta o número de linhas igual ao número de pseudodistâncias observadas e o número de colunas igual ao número de incógnitas;

- **L^o** é um vetor que contém as pseudodistâncias observadas;

- **L^c** é um vetor que contém as pseudodistâncias calculadas para valores aproximados das incógnitas;

- **V** é um vetor de resíduos;

- **X** é um vetor de correções que permite a conversão de incógnitas aproximadas em ajustadas.

A fim de obter uma única solução para este sistema deve-se, como já é sabido, aplicar o princípio dos mínimos quadrados, ou seja:

$$v^{TPV} = \text{mínimo} \quad (05)$$

Aplicando (05) em (04) ter-se-á:

$$X = (A^{TPA})^{-1} A^{TPL} \quad (06)$$

Esta solução pode incluir muitas observações de pseudodistâncias. Porém, para os problemas de navegação são resolvidas as três coordenadas do móvel e o erro do relógio no receptor, em tempo real, com a observação simultânea de pelo menos quatro satélites. Isto se os erros de órbita e atmosfera forem negligenciados.

Para maiores informações quanto ao ajustamento ver Gemael(1974) e Hofmann(1992).

1.2.3.2) POSICIONAMENTO RELATIVO

A figura 07 representa o sistema DGPS. Seguindo o mesmo raciocínio do posicionamento absoluto, utilizando-se a fase do código, ter-se-á a seguinte equação:

$$\begin{aligned} PR_{ref(t)}^{SV} lev = & |\vec{R}_{ref(t)}^{SV}| + c\delta t_{ref(t)} - c\delta t_{SV(t)} \\ & + c\delta T_{ref(t)}^{SV} + \epsilon_{ref}^{SV} \end{aligned} \quad (07)$$

onde:

- $PR_{ref(t)}^{SV} lev$ é a pseudodistância levantada na estação de referência;
- $|\vec{R}_{ref(t)}^{SV}|$ é a distância geométrica da estação de referência ao satélite;
- c é a velocidade da luz no vácuo;
- $\delta t_{ref(t)}$ é o erro de sincronismo do relógio do receptor da estação de referência com relação ao tempo GPS;

- $\delta t^{SV}(t)$ é o erro de sincronismo do relógio do satélite com relação ao tempo GPS;
- $\delta T_{ref}^{SV}(t)$ é o erro de propagação na atmosfera;
- ϵ_{ref}^{SV} são os resíduos.

Neste sistema a estação de referência calcula pseudodistâncias com as suas coordenadas conhecidas. Então:

$$\begin{aligned} (PR_{ref(t)}^{SV})_{calc}^2 &= (X^{SV}(t) - X_{ref}(t))^2 + (Y^{SV}(t) \\ &\quad - Y_{ref}(t))^2 + (Z^{SV}(t) - Z_{ref}(t))^2 \end{aligned} \quad (08)$$

Através do método diferencial, ter-se-á para cada satélite as correções às pseudodistâncias dadas por:

$$PRC_{ref(t)}^{SV} = PR_{ref(t)}^{SV}{}_{calc} - PR_{ref(t)}^{SV}{}_{lev} \quad (09)$$

$$\begin{aligned} PRC_{ref(t)}^{SV} &= |\vec{R}_{ref(t)}^{SV}| - |\vec{R}_{ref(t)}^{SV}| - c\delta t_{ref}(t) \\ &\quad + c\delta t^{SV}(t) - c\delta T_{ref(t)}^{SV} - \epsilon_{ref}^{SV} \end{aligned}$$

$$PRC_{ref(t)}^{SV} = -c\delta t_{ref}(t) + c\delta t^{SV}(t) - c\delta T_{ref(t)}^{SV} - \epsilon_{ref}^{SV} \quad (10)$$

onde: - $PRC_{ref(t)}^{SV}$ são as correções geradas na estação de referência;

- $PR_{ref(t)}^{SV}{}_{calc}$ são as pseudodistâncias calculadas na estação de referência a partir das suas coordenadas; e

- $PR^{SV}_{ref}(t)_{lev}$ são as pseudodistâncias levantadas na estação de referência.

Com a equação (10) pode-se confirmar que as correções às pseudodistâncias indicam o somatório dos erros cometidos (sincronismo dos relógios, atmosfera e outros), que aplicado à estação móvel tende a minimizá-los.

Na estação móvel a pseudodistância levantada é dada por:

$$PR^{SV}_{mv}(t)_{lev} = |\vec{R}^{SV}_{mv}(t)| + c\delta t^{mv}(t) - c\delta t^{SV}(t) + c\delta T^{SV}_{mv}(t) + \epsilon^{SV}_{mv} \quad (11) \text{ ou}$$

$$PR^{SV}_{mv}(t)_{lev} = |\vec{R}^{SV}_{mv}(t)| + \Sigma_{erros\ mv}(t).$$

Tem-se ainda nesta estação as correções enviadas da estação de referência, logo:

$$CPR^{SV}_{mv}(t) = PR^{SV}_{mv}(t)_{lev} - PRC^{SV}_{ref}(t) \quad (12)$$

onde: - $CPR^{SV}_{mv}(t)$ pseudodistância da estação móvel com as correções na estação de referência,

$$CPR^{SV}_{mv}(t) = |\vec{R}^{SV}_{mv}(t)| + \Sigma_{erros\ mv}(t) - PRC^{SV}_{ref}(t) \quad (13)$$

Conforme a equação (13), se fosse possível separar os erros seria eliminado o erro de sincronismo do relógio do satélite com relação ao tempo GPS. Porém isto não é possível em tempo real, visto que se possui um conjunto de dados que representa estes erros. Eles podem é ser minimizados, como foi dito anteriormente, e obter-se-á:

$$CPR^{SV}_{mv}(t) = |\vec{R}^{SV}_{mv}(t)| + \Delta_{erros} \quad (14),$$

$$\text{onde: } \Delta_{erros} = \Sigma_{erros\ mv}(t) - PRC^{SV}_{ref}(t)$$

A parcela do Δ erros poderá ser maior ou menor dependendo da distância entre as duas estações e das

observáveis, pois se as duas estações estiverem próximas ($<10\text{km}$), o erro referente à propagação na troposfera pode ser considerado o mesmo para ambas; mas se forem utilizadas as ondas portadoras (L_1 e L_2), a parcela do erro referente à propagação na ionosfera normal pode ser corrigida.

Porém, o trabalho com o sistema DGPS evidencia em muitas aplicações a presença destes erros, pois as distâncias entre as estações de referência e a móvel tendem a ser maiores que 10 km e não se pode admitir que eles influenciam da mesma forma as estações.

1.2.4) ERROS NO SISTEMA

Fez-se referência na seção 1.1 aos erros mais importantes que influenciam o sistema GPS (ver figura 04).

No sistema DGPS, conforme observa-se nas equações (10) e (14), anteriormente apresentadas, estes erros estão presentes. São eles:

- Estado do relógio do satélite em relação ao tempo GPS;
- Estado do relógio do receptor em relação ao tempo GPS;
- Disponibilidade seletiva (SA);
- Efeito multicaminho - "multipath";
- Propagação na atmosfera;
- Efemérides; e
- Ruído no Receptor.

1.2.4.1) ESTADO DO RELÓGIO DO SATÉLITE EM RELAÇÃO AO TEMPO GPS

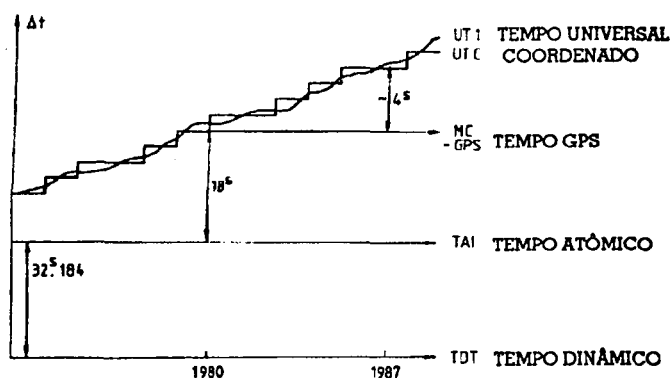
Este erro diz respeito ao não-sincronismo do relógio do satélite com o tempo GPS. O tempo GPS é operacionalmente definido como a escala de tempo utilizada no sistema GPS, o qual é conservado por relógios atômicos e teve sua origem às 0 h 00 m do dia 06 de janeiro de 1980. Ele difere do Tempo Universal Coordenado (TUC) de um número inteiro de segundos.

O tempo GPS é monitorado pela estação mestra de controle em Colorado Springs (USA).

A correlação do tempo GPS com outras escalas de tempo é apresentada na figura 10.

Figura 10 Escalas de Tempo em Geodésia Celeste .

(Fonte: Seeber, 1993)



Os relógios dos satélites sofrem a influência de efeitos relativísticos. Por estar sofrendo a ação de um campo gravitacional mais fraco, sofre um adiantamento. Porém, em consequência da velocidade do satélite sofre um atraso. Tais efeitos alteram a frequência dos relógios dos satélites de bordo. Para minimizar este efeito estas frequências são reduzidas antes de se lançar os satélites em sua órbita.

A estação mestra de controle aplica correções individuais para sincronizar o relógio dos satélites.

Para navegação em tempo real os relógios dos satélites devem ser suficientemente estáveis em frequência e sincronizados com o tempo GPS. Por isto os relógios são fabricados com os osciladores de rubídio ou césio.

O comportamento destes relógios são enviados ao usuário na forma de coeficientes de um polinômio de segundo grau, os quais são preditos pelo segmento de controle.

Quando é efetuado um levantamento com posicionamento absoluto e se deseja alta precisão, faz-se necessário recorrer a modelos matemáticos mais sofisticados, visto que atualmente há a influência da disponibilidade seletiva. Ver Wübbena ¹ (1989) e Seeber (1993).

Para o sistema DGPS, se fosse possível separar os erros este efeito seria completamente removido.

1.2.4.2) ESTADO DO RELÓGIO DO RECEPTOR EM RELAÇÃO AO TEMPO GPS

Este erro refere-se ao não sincronismo do relógio do receptor (usuário) com o tempo GPS. Estes relógios necessitam apenas serem estáveis para as determinações das pseudodistâncias com fase da portadora modulada com o código. Pode-se, então, utilizar um oscilador de quartzo de média qualidade.

No posicionamento por satélites a correção do relógio do usuário é uma das incógnitas.

¹ Citado por Seeber (1993) p. 301.

Este erro é mais crítico quando as medidas não são efetuadas em tempos idênticos nos receptores. Por esta razão, alguns receptores modernos permitem um ajustamento das épocas das observações para prédeterminar os tempos.

Os erros quanto ao estado do relógio do receptor em relação ao tempo GPS encontram-se presentes na equação (14) conforme viu-se na seção anterior.

Estes erros são importantes, pois segundo Gemael um erro de 1 μ s no relógio corresponde a um erro de 300 m na distância, e 1 ns a 30 cm na distância.

1.2.4.3) DISPONIBILIDADE SELETIVA

Na seção 1.1 este erro foi definido, além de se ter feito referência à sua história, complementada a seguir.

Tal sistema de proteção foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, a fim de manter a segurança do seu país.

A disponibilidade seletiva apresenta duas técnicas: a técnica Épsilon (ϵ) e a Dither (δ). A primeira consiste na manipulação dos dados das efemérides (mensagem de navegação), enquanto a segunda na manipulação da frequência dos relógios dos satélites. Ver Seeber, Heimberg(1991) e Wübbena¹(1989).

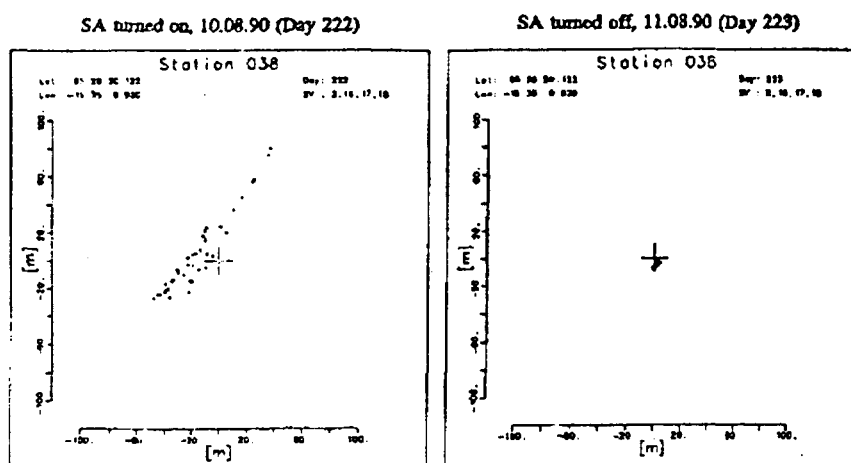
Ambas produzem erros nas medidas das pseudodistâncias. Pode-se observar a influência do SA, num posicionamento absoluto, na figura 11. Os dados nela contidos foram coletados em uma campanha realizada em agosto de 1990 em

¹ Citado por Seeber (1991) p. 335

Iceland, embora tal fator, também tenha sido observado por pesquisadores da UFPr em 1991. Foram utilizados a mesma constelação de satélites e o mesmo tempo de observação para dois dias diferentes de levantamento (dia GPS 222 e 223).

FIGURA 11 Influência do SA nos Dados GPS

(Fonte: Heimberg, Seeber - 1991)



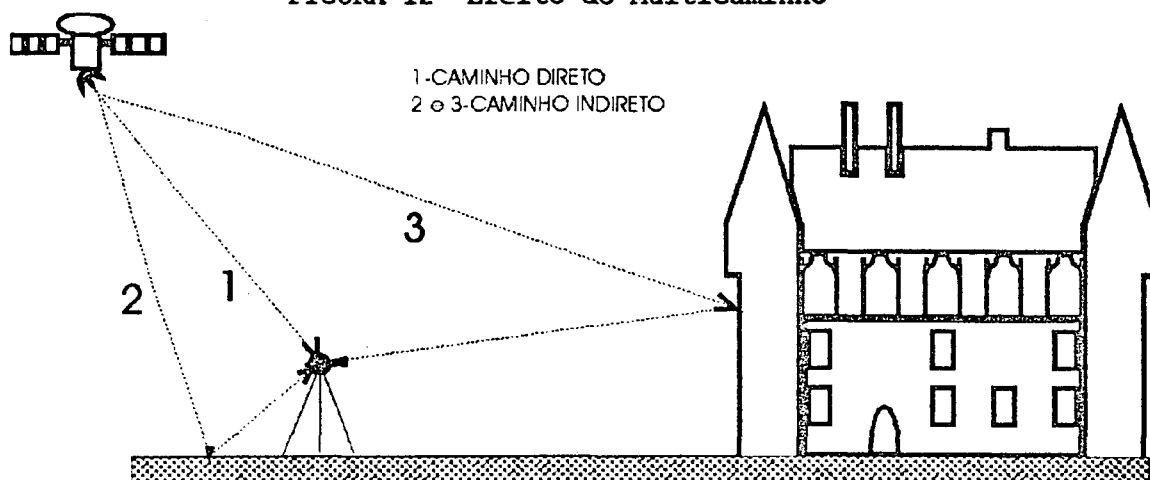
No dia GPS 222, a disponibilidade seletiva estava ativada e houve variações médias de -40 m a +80 m; e para o dia GPS 223, com a disponibilidade seletiva desativada as variações foram de -2 m a +8 m, ver Heimberg, Seeber (1991).

1.2.4.4) EFEITO MULTICAMINHO

Este efeito ocorre quando o sinal emitido pelo satélite chega à antena do usuário por mais de um caminho. Isto quer

dizer que além do sinal enviado diretamente pelo satélite chegam à antena sinais refletidos principalmente por acidentes próximos a ela (ver figura 12).

FIGURA 12 Efeito do Multicaminho



Observa-se na figura 12 que o sinal chega à antena por três diferentes caminhos. Há a superposição de sinais diretos e indiretos, os quais produzem erros de vários centímetros.

Este efeito causa maiores prejuízos às medidas com os códigos do que com a fase das portadoras. Os sinais enviados por satélites de baixa altitude em relação ao horizonte são mais suscetíveis a este erro do que os emitidos pelos satélites com maiores altitudes em relação ao horizonte.

Não há um modelo matemático geral para este efeito, visto que há situações geométricas diferentes. Porém, Georgiadou and Kleusberg ¹ (1988) e Evans and Hermann ² (1990) apresentam modelos matemáticos para estimar este erro quando está sendo utilizada a combinação de medições com dupla frequência (códigos L_1 e L_2 e fase da portadora).

¹ Citado por Aquino p. 40

² Citado por Seeber (1993) p. 309

É possível minimizar este efeito da seguinte forma:

- selecionar o local para posicionar a antena, evitando a presença de possíveis reflexões vizinhas;
- selecionar o tipo da antena, utilizar de preferência antena com um grande plano (p.ex. microstrip); e
- utilizar material adequado próximo a antena para absorver os sinais indiretos.

Quando se trabalha com posicionamento relativo em situações estáticas, este efeito é minimizado para maiores períodos de observação. Porém nos casos em que se tem um posicionamento relativo em levantamentos cinemáticos ou estáticos rápidos isto não ocorre. Pesquisas têm demonstrado que este erro é de cerca de 15 cm o que afeta consideravelmente estes levantamentos quando se busca precisões ao nível do centímetro. Ver Georgiadou, Kleusberg ¹ (1988) e Seeber (1993).

1.2.4.5) PROPAGAÇÃO NA ATMOSFERA

Segundo a figura 04 da seção 1.1, a atmosfera acarreta um desvio na trajetória do sinal emitido do satélite ao usuário. Esse sinal sofre influência de duas camadas da atmosfera, a Troposfera e a Ionosfera. Sabe-se que a primeira camada, mais próxima do solo, possui aproximadamente 50 km de espessura e é eletricamente neutra.

A segunda camada, um meio ionizado, corresponde a uma espessura de 50 km a 1000 km, portanto superior à

¹ Citado por Aquino p. 40

troposfera. Estas camadas perturbam a trajetória dos sinais de duas formas diferentes: acelerando-a ou retardando-a. Sabe-se que se esta propagação da trajetória ocorresse no vácuo ela seria retilínea.

1.2.4.5.1) REFRAÇÃO TROPOSFÉRICA

A camada troposférica é um meio não dispersivo, ou seja, a perturbação na trajetória do sinal independe da sua frequência. Devido a este fator não é necessária a utilização de dupla frequência (L_1 e L_2) nos levantamentos.

A fim de estimar o atraso na troposfera é necessário considerar nos levantamentos as condições meteorológicas locais (temperatura seca e úmida, pressão atmosférica e pressão do vapor d'água), e aplicar os modelos matemáticos já existentes. Ver Saastamoinen and Hopfield ¹ (1987) e Andrade (1977).

Estudos provaram que para as observações de satélites com ângulos de elevação inferiores a 15° há significativos erros nos modelos. Logo, nos levantamentos de campo procura-se utilizar as observações dos satélites com ângulos de elevação superiores a este.

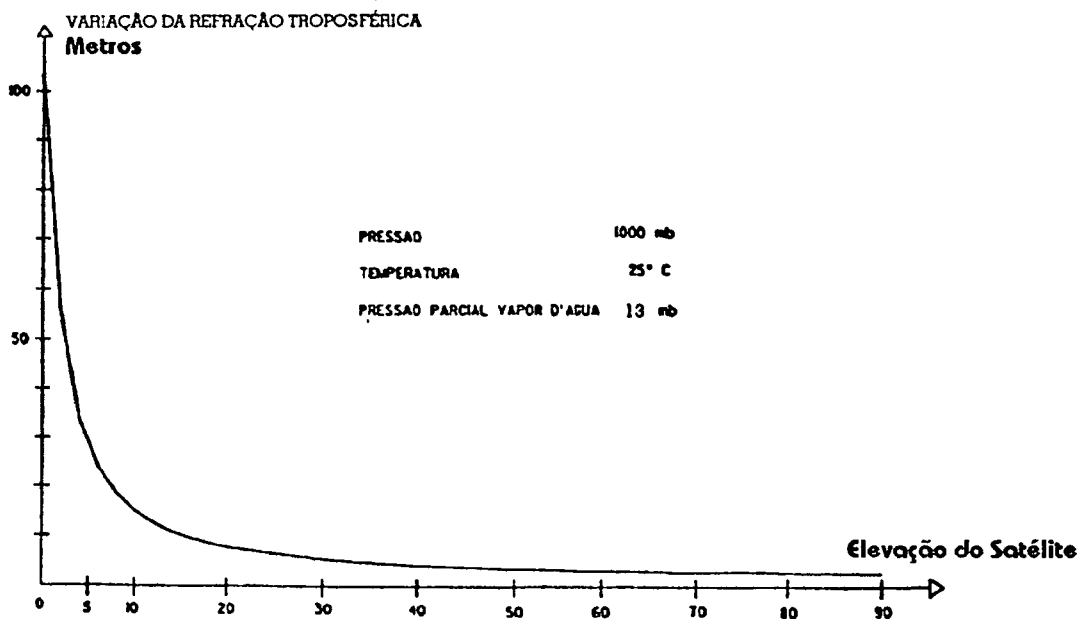
O gráfico 06 comprova tal fato. Nele observa-se a variação da refração troposférica com a elevação do satélite.

Fica evidente que para elevações do satélite superiores a 20° esta variação é lenta. Porém, à medida que o satélite se aproxima do horizonte ela sofre um rápido aumento.

¹ Citado por Aquino p. 39 e por Hoppe p. 10

GRÁFICO 06 Variação da Refração Troposférica x Altura do Satélite

(Fonte:Andrade 1988)



Trabalhando com um posicionamento relativo com bases não superiores a 10 km, este erro quase desaparece completamente, visto que há uma grande correlação entre os efeitos troposféricos para ambas as estações. Este efeito será menor do que o ruído das observações. Porém, se desejarmos efetuar um levantamento com bases maiores ou em regiões fortemente acidentadas, é necessário que se realizem observações troposféricas para as estações, além de introduzi-las na solução.

Para concluir, este efeito é crítico quando necessita-se de um posicionamento de precisão e a determinação de uma linha de base para regiões acidentadas.

1.2.4.5.2) REFRAÇÃO IONOSFÉRICA

A propagação do sinal na ionosfera sofre atrasos em função do número total de elétrons nesta camada, da sua espessura e da frequência utilizada. A atividade solar é um dos principais fatores que contribui para a dissociação dos ions neste meio. Logo, a refração ionosférica varia com a posição, o tempo e a frequência. Os erros que podem surgir na medida das distâncias (receptor-satélite) podem variar de 1 m a 100 m (Wells ¹ 1986 e Klobuchar ¹ 1991). Um pequeno erro ocorrerá nos casos onde a atividade solar é mínima.

A fim de eliminar os efeitos de primeira ordem nestas medidas, os levantamentos devem ser realizados com receptores de dupla frequência (L_1 e L_2), pois desta forma explora-se o fato da refração ionosférica depender da frequência do sinal.

O modelo matemático para esta situação é dado em Seeber (1993), Andrade (1988) e Gemael (1991).

Nos casos em que se possui apenas um receptor de frequência simples, deve-se aplicar modelos matemáticos de correção ionosférica, como o modelo de Klobuchar ² (1987). Os coeficientes necessários neste modelo, que consegue remover em torno de 50% do efeito, são obtidos pelas efemérides transmitidas.

Para maiores detalhes ver Seeber (1993), Andrade (1988), Campos (1989) e Hoppe (1992).

Quando se trabalha com o DGPS, geralmente não se possui um receptor com duas frequências, logo, este erro deveria ser modelado matematicamente para se obter alta

¹ Citado por Seeber (1993) p. 303

² Citado por Aquino p. 39

precisão. Nos casos em que a distância entre a estação de referência e a móvel não for elevada, e se desejar obter apenas uma precisão de 1 a 5 metros, este efeito pode ser negligenciado.

1.2.4.6) EFEMÉRIDES

Quando desejar obter um trabalho de navegação, o usuário deve ter acesso em tempo real às posições dos satélites e ao sistema de tempo dos satélites. Pode-se obter tais fatores através das informações sobre as órbitas na mensagem de navegação, determinada pelo segmento de controle e transmitida aos usuários via satélites GPS.

Pode-se ter efemérides transmitidas "Broadcast Ephemeris" e as precisas. As primeiras consistem numa série de parâmetros que compreendem dois grupos de elementos, os da órbita Kepleriana e os termos de correções para pequenas perturbações na trajetória.

São geradas em dois passos distintos. O primeiro refere-se às efemérides de referência, baseadas na observação durante 7 dias pelas 5 estações monitoras do segmento de controle GPS. Utilizam sofisticados programas computacionais para determinar a órbita dos satélites. No segundo passo são obtidas as discrepâncias entre as observações efetuadas nestas estações e as efemérides de referência, as quais são processadas utilizando o filtro de Kalman, a fim de obter as correções para as efemérides de referência, melhorando as órbitas e utilizando-as para extrapolação. Para maiores detalhes ver Seeber (1993).

As efemérides precisas são fornecidas pelas coordenadas cartesianas dos satélites e velocidades como função do tempo. São calculadas no "US Naval Surface Weapons Center (NSWC)".

Os dados utilizados são os obtidos pelas estações de controle e por outras instituições autorizadas.

A imprecisão nas efemérides exercerá fundamental importância para a solução da posição absoluta de um ponto, visto que os satélites são considerados objetos físicos em cada época.

Para um posicionamento relativo, se as estações estiverem próximas, poder-se-á considerar que tal erro afeta ambas as estações da mesma forma quando se compara este com a altitude dos satélites.

Um erro nas efemérides acarretará um erro orbital. Se observarmos mais de 4 satélites, no entanto, este efeito do erro orbital será reduzido consideravelmente.

Ao analisar-se este erro orbital na determinação de uma linha base, ter-se-á :

$$\frac{db}{b} = \frac{dr}{r} \quad (15)$$

onde:- **b** o comprimento da linha base;

- **db** erro propagado à linha base;

- **r** distância da estação ao satélite;

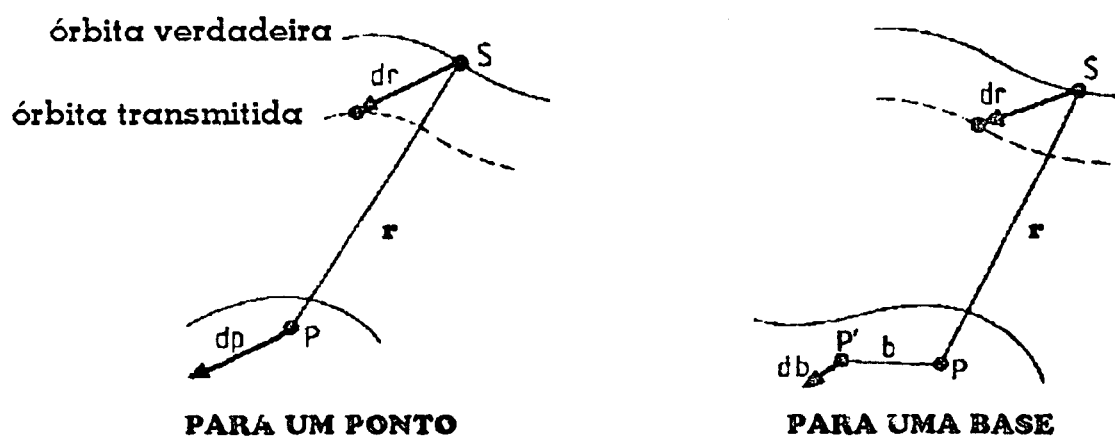
- **dr** erro orbital.

Para maiores detalhes quanto à equação (15) veja-se Vanicek ¹ (1985).

A figura 13 mostra o efeito do erro orbital.

FIGURA 13 Efeitos do Erro Orbital

(Fonte: Seeber, 1993)



Pela equação (15) observa-se que um r máximo igual a 25000 km e admitindo-se um erro na linha de base de 1 cm ter-se-á a tabela 03.

¹ Citado por Seeber (1993) p.297

TABELA 03 Erro Orbital para Erro da Linha Base = 1cm

(Fonte: Seeber, 1993)

COMPRIMENTO DA LINHA BASE	ERRO ORBITAL ADMISSÍVEL
0,1 km	2500 m
1 km	250 m
10 km	25 m
100 km	2,5 m
1000 km	0,25 m

Estes resultados da tabela 03 só são viáveis para pequenas redes. As redes maiores, que necessitam obter uma precisão de 0,1ppm, só alcançaram bons resultados mediante melhores efemérides, segundo Gemaél.

Na tabela 04 pode-se observar a precisão relativa desejada e os erros orbitais admissíveis.

TABELA 04 Precisão X Erro Orbital

(Fonte: Seeber, 1993)

POSIÇÃO RELATIVA DESEJADA	ERROS ORBITAL ADMISSÍVEL
5 ppm	125 m
1 ppm	25 m
0,5 ppm	12,5 m
0,1 ppm	2,5 m

1.2.4.7) RUÍDO NO RECEPTOR

Este fator, mais um dos que acarretam erros, é, em geral, considerado igual a 1% do comprimento da onda do sinal enviado para os receptores clássicos. Logo, será um valor maior para as observações com códigos do que para as observações com fase portadora, conforme pode-se observar na tabela 05.

TABELA 05 Ruído x Comprimento da Onda

(Fonte: Seeber, 1993)

	COMPRIMENTO DA ONDA	RUÍDO
CÓDIGO C/A	cerca de 300 m	cerca de 3m
CÓDIGO P	cerca de 30 m	cerca de 30 cm
FASE DA PORTADORA	cerca de 20 cm	cerca de 2 mm

Os receptores modernos trazem internamente filtros que reduzem este erro nas observações com códigos para poucos centímetros. Em geral, os receptores para DGPS utilizam as técnicas de medidas das distâncias suavizadas, ou seja, utilizam a onda portadora suavizada pelo código ("carrier smooth code"), o qual se verá numa próxima seção.

Foi dito anteriormente que no sistema DGPS os erros estão presentes. A tabela 06 dá uma idéia de qual é a influência destes erros sobre algumas distâncias.

TABELA 06 Influência dos Erros no DGPS

(Fonte: Hoppe, 1993)

ERRO	DISTÂNCIA (KM)				
	0	180	900	1800	3600
Relógio de Sat.	0	0	0	0	0
Efemérides	0	0,1	0,5	1,0	2,0
Disponibilidade					
Seletiva	0	0	0	0	0
Ionosfera ¹	0	2,5	5,6	7,3	9,4
Troposfera	0	2,0	2,0	2,0	2,0
Ruído ²	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Multicanais ³	0	0	0	0	0
UERE	1,0	3,4	6,0	7,7	9,9

OBS: 1 -> erro ionosférico de 10 m

2 -> ruído receptor com filtro

3 -> emprego de antena com aba larga

1.2.5) OBSERVAÇÕES DA FASE DO CÓDIGO ALISADA PELA PORTADORA

Viu-se na seção 1.1, tabela 02, o nível do ruído para os códigos e para as portadoras, e na seção 1.2.4.7 a influência deste. Para minimizar este problema é que se optou por tal tipo de observação.

Trata-se de uma técnica de exploração das observáveis e não de um conceito especial no DGPS. É muito empregada no sistema diferencial GPS, a fim de se obter uma melhor precisão nos resultados.

Porém, onde há uma perda de sinal esta técnica detecta mas não corrige, retornando a situação inicial, ou seja, a simples observação da fase do código. Faz-se necessário, então, que o algoritmo reinicialize o alisamento. Neste caso não interessa a solução da fase da portadora, mas unicamente o alisamento.

O algoritmo para esta técnica, proposto por Hatch ¹ (1982) e mais tarde por Lachapelle ¹ (1986), é dado pela equação (16).

$$PR_{\Phi}(t) = \omega_{PR}(t) PR_r(t) + \omega_{\Phi}(t) (PR_{\Phi}(t-1) + (\Phi(t) - \Phi(t-1))) \quad (16)$$

onde:

- $PR_r(t)$ observações brutas das pseudodistâncias em t ;
- $PR_{\Phi}(t)$ pseudodistâncias alisadas pela portadora em t ;
- $\omega_{PR}(t)$ peso da pseudodistância bruta em t ;
- $\omega_{\Phi}(t)$ peso da $(PR_{\Phi}(t-1) + (\Phi(t) - \Phi(t-1)))$

$$\omega_{\Phi}(t) = 1 - \omega_{PR}(t) \quad (17)$$

O uso deste filtro progressivamente aumenta o peso da medida da fase da portadora Φ . Segundo Lachapelle (1986), os respectivos pesos atribuídos para a medida da pseudodistância e fase da portadora são funções do tempo decorrido desde o início das observações da fase, ou desde a última perda de sinal ocorrida. Na prática sabe-se que as ambigüidades na fase da portadora são resolvidas após um tempo com a resolução de 3 a 5 ciclos para receptores com código C/A, correspondendo a uma precisão de 1 metro. Este

¹ Citados por Seeber (1993) p. 289

tipo de filtro é bem condizente com as aplicações em tempo real. Com ele obtém-se no sistema DGPS uma precisão em posição reduzida de 50 % dos resultados obtidos com a simples observação do código (precisão de 5 a 10 metros). Para maiores detalhes ver Lachapelle ¹ (1990,1991), Lachapelle ¹ (1986) e Westrop ¹ (1990).

1.2.6) EQUIPAMENTOS

Na seção 1.2.2 foi dito que para a realização de um levantamento com o sistema DGPS faz-se necessário utilizar dois receptores com seus complementos, bem como um sistema de comunicação para enviar as correções às pseudodistâncias da estação de referência à estação móvel.

1.2.6.1) RECEPTORES

Como já se sabe, muitos receptores têm sido desenvolvidos por diversas empresas (p.ex. **TRIMBLE, ASHTECH, MAGNAVOX, TEXAS INSTRUMENTS**), que continuam procurando obter, cada vez mais, receptores para alta precisão e com dimensões menores. A evolução neste setor tem sido rápida; consegue-se obter informações sobre os novos lançamentos através de revistas específicas, como é o caso da "GPS WORLD", ou junto aos representantes das mesmas. Pode-se ter uma noção sobre alguns tipos de receptores e suas características e aplicações em Seeber (1993).

O sistema DGPS exige a utilização de equipamentos mais sofisticados, ou seja, rastreadores diferenciais, que

¹ Citados por Seeber p. 289

devem ser pequenos, com baixo consumo de energia, leves e precisos.

Utiliza-se neste sistema dois receptores sendo um de referência e um móvel. O receptor de referência deve ser capaz de calcular e transmitir as correções ao receptor móvel. É ideal possuir de 9 à 12 canais a fim de receber os sinais do maior número de satélites possíveis. O receptor móvel deve receber as correções e aplicá-las, obtendo a posição corrigida dentro da precisão desejada. Porém, este pode possuir um número menor de canais, p.ex. 8, no entanto deve ser capaz de aceitar a conexão a um sistema de comunicação.

É claro que certos fatores, como o tipo do receptor, o fim a que se destina o levantamento, o sistema de comunicação empregado e outros, influenciam na precisão.

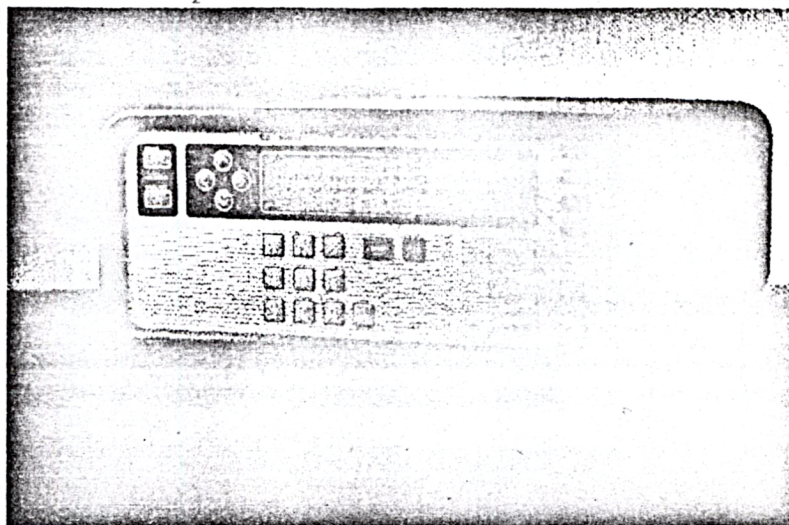
Ambos os receptores devem operar utilizando o RTCM SC-104 formato padrão.

Como acessórios os receptores necessitam de baterias, antenas, cabos das antenas, adaptadores internacionais AC, módulo de suporte oficial (OSM) e cabos para conectá-los ao computador .

Com receptores DGPS é possível obter a posição com uma precisão de 1 a 5 m, dependendo do tipo de rastreador utilizado e também de suas características.

Um exemplo destes receptores pode ser observado na figura 14 (os equipamentos 4000 RL e DL da **TRIMBLE NAVIGATION**) .

FIGURA 14 Receptores 4000 RL e DL - TRIMBLE NAVIGATION



Em algumas aplicações do DGPS, como a navegação, têm sido utilizado sensores. Geralmente são receptores que possuem a antena integrada, formando um bloco compacto, que recebe as correções geradas na estação de referência e calcula a sua posição. Se estas não estiverem disponíveis o sensor pode calcular como uma solução GPS convencional. Um exemplo deste equipamento seria o Acutis DGPS da **TRIMBLE NAVIGATION**, que possui 6 canais e é preciso de 3 a 10 metros. Ele é mostrado na figura 15.

FIGURA 15 Sensor Acutis DGPS- TRIMBLE Navigation



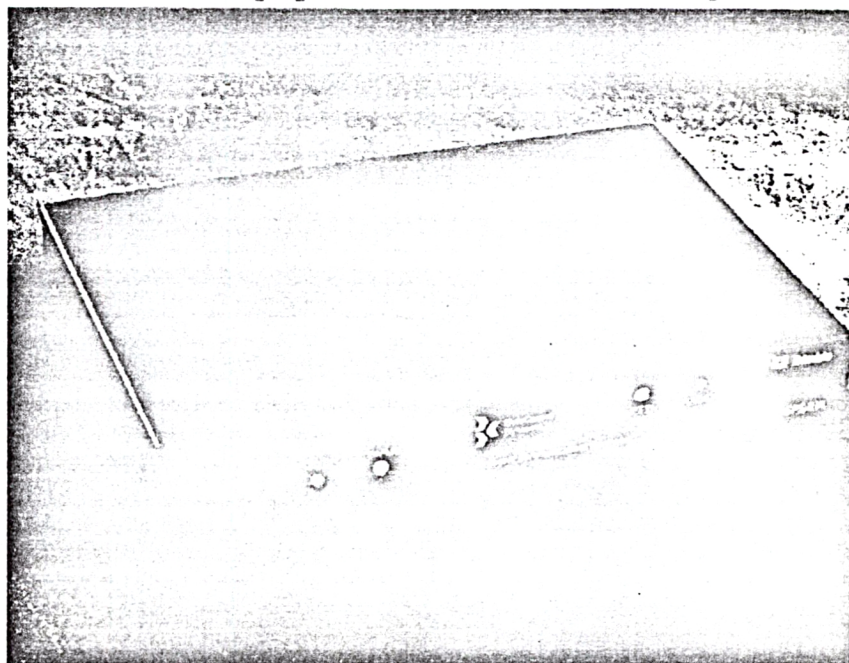
1.2.6.2) SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

Conforme foi dito na seção 1.2.2, há várias formas de estabelecer um sistema de comunicação entre a estação de referência e a estação móvel. A escolha dependerá do equipamento disponível, do custo e do fim a que se destina o levantamento.

As formas de comunicação, por se tratar de um assunto interessante, serão vistas com maiores detalhes na seção 1.2.8.

Algumas empresas que desenvolveram os receptores já se preocupam com a comunicação e estão desenvolvendo equipamentos apropriados. Por exemplo, a **TRIMBLE NAVIGATION** apresenta um equipamento cuja função é funcionar como um modem e permitir a comunicação da base com a estação móvel. É o ICC "Intelligent Communication Controller" (ver figura 16).

FIGURA 16 Equipamento ICC TRIMBLE Navigation



1.2.7) FORMATO PARA A TRANSFERÊNCIA DE DADOS NO DGPS

O amplo número de usuários do sistema diferencial GPS tornou necessária a uniformização das informações. Em novembro de 1983 foi fundado o Comitê Especial 104 da RTCM, o qual desenvolveu recomendações e critérios para a transmissão das correções das pseudodistâncias, além de definir o sistema de comunicação entre a estação de referência e a móvel.

Embora esta comissão esteja relacionada com os usuários marítimos do sistema DGPS, as recomendações definidas podem ser utilizadas também por outros usuários do sistema.

A comissão introduziu a versão 1.0 do RTCM em 1985. Após experiências operacionais e desenvolvidos alguns testes de campo, esta comissão realizou aperfeiçoamentos e obteve a versão 2.0, em janeiro de 1990.

Foram desenvolvidas recomendações para:

- mensagem e formato dos dados;
- sistema de comunicação ;e
- sistema de pseudo-satélite.

A recomendação para a mensagem e formato dos dados inclui diversas mensagens. A primeira engloba as pseudodistâncias, a taxa de correção das distâncias para cada satélite rastreado pela estação de referência, a identificação do satélite, a distribuição dos dados e a saúde dos satélites e da estação. A segunda mensagem proporciona novas correções às pseudodistâncias, a fim de possibilitar aos usuários utilizar dados de satélites antigos nas pseudodistâncias calculadas. A terceira fornece dados auxiliares, tais como: a localização da estação de referência e da móvel e correções

aos fatores troposféricos. A quarta mensagem, para aplicações de levantamentos, possui medidas para precisão da fase da portadora com as correções às pseudodistâncias.

O sistema de comunicação identifica o número de navegação e as faixas para a comunicação, as quais poderão ser utilizadas para os serviços de Rádio Navegação e Rádio Localização.

O sistema de pseudo-satélite desenvolveu um conceito que assegura uma operação livre de interferências, utilizando faixas de frequência GPS para a transmissão das correções. Um sinal pseudo-satélite iguala-se ao sinal do satélite GPS.

1.2.7.1) RECOMENDAÇÕES PARA A MENSAGEM E FORMATO DOS DADOS

O formato geral da mensagem foi modelado após a especificação no documento ICD -GPS 200, da mensagem de navegação GPS. Ele difere, então, um pouco do da mensagem GPS. O tamanho da palavra GPS e o seu formato permaneceram. A maior diferença entre os formatos é que as mensagens diferenciais utilizam um comprimento variável para o formato, ao passo que o formato GPS tem o seu comprimento fixo.

O formato não decreta uma taxa de dados, mas as recomendações estabelecem um mínimo de 50 bits por segundo, o mesmo que para a mensagem de navegação GPS.

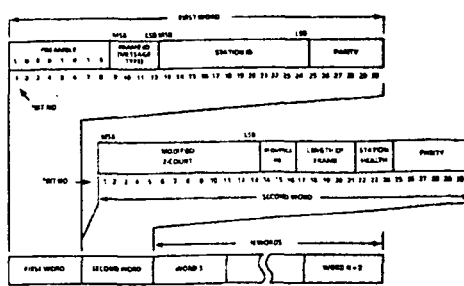
Pode-se observar o formato geral para esta mensagem na figura 17. Cada quadro de mensagem é constituído por palavras com 30 bits, sempre dirigidas para duas palavras-padrão, que proporcionam o seguinte:

- 1) preâmbulo fixado;

- 2) identificação do tipo da mensagem;
- 3) identificação da estação de referência;
- 4) dados de sincronização;
- 5) comprimento do quadro da mensagem; e
- 6) informações sobre a saúde da estação.

FIGURA 17 Formato da Mensagem Geral

(Fonte: SC 104 Recommendations for Differential GPS Service)



Pode-se observar na figura 17 que os conteúdos da primeira e segunda palavra possuem um número de bits, p.ex.: o tipo da mensagem possui 4 bits e o contador Z 13 bits. Porém, cada palavra pode apresentar de 0 a 31 bits, valor que dependerá do tipo de mensagem e do número de satélites em vista para a estação de referência.

Na mensagem de navegação GPS, a localização do início do próximo subquadro é feita com um incremento ao contador Z (ver Andrade (1988)). No presente caso o receptor pode utilizar um incremento ao número da sequência e esta localização é indicada com o número do comprimento do quadro.

A saúde da estação indica como as últimas medidas nesta estação foram feitas.

Para o DGPS, a estação de referência envia as correções das pseudodistâncias à estação móvel através da mensagem DGPS,

a qual, está estruturada em 63 tipos de mensagens identificadas pelos seus números de 1 a 63. Algumas destas encontram-se definitivas(D), algumas provisórias(P) e outras reservadas(R) para aplicações futuras.

Estes tipos de mensagens são apresentados na tabela 07.

TABELA 07 Tipos de Mensagens

TIPO Nº	TIPO DE MENSAGEM	ESTADO ATUAL
01	Correções Diferenciais	D
02	Delta Correções Diferenciais	D
03	Parâmetro da Est. Referência	D
04	Informções da Fase Portadora	P
05	Saúde da Constelação	P
06	Quadro Nulo	D
07	Dados do Almanaque	P
08	Dados do Pseudo-satélite	P
09	Correções dif. com alta taxa	D
10	Correções dif. Código P	R
11	Delta correções código C/A	R
12	Parâmetros est. pseudo-sat.	R
13	Parâmetros est. transferência	P
14	Mensagem de Socorro	R
15	Parâmetros Ionosfera e Trop.	R
16	Mensagem Especial (ASCII)	D
17	Dados de efemérides	P
18-59	Indefinidos	-----
60-63	Mensagens diferenciais Loran-C	R

Na versão 1.0 do RTCM, esta lista de mensagens possuía apenas 16 tipos, que podem ser vistos em Kafafus, Dierendonck, Pearler (1986). A tabela apresentada refere-se a lista de mensagens criada na versão 2.0. Ao serem comparadas, elas se distinguem apenas por pequenas modificações e complementações, como já era de se esperar.

A seguir dar-se-á ênfase às principais mensagens citadas na tabela 08.

Mensagem Tipo 01 - Correções Diferenciais - GPS

Esta mensagem, definitiva e primária, contém as pseudodistâncias e as taxas de correções às distâncias para os usuários do sistema DGPS. O seu formato está descrito na figura 18.

FIGURA 18 Formato da Mensagem Tipo 01

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	BY NO.*					
SATELLITE HEALTH		SATELLITE ID				PSEUDORANGE CORRECTION										PARITY					WORDS 3,8,19 OR 18														
RANGE-RATE CORRECTION					ISSUE OF DATA					SATELLITE HEALTH		SATELLITE ID			PARITY					WORDS 6,9,14 OR 19															
PSEUDORANGE CORRECTION										RANGE-RATE CORRECTION					PARITY					WORDS 5,10,15 OR 20															
ISSUE OF DATA					SATELLITE HEALTH		SATELLITE ID			PSEUDORANGE CORRECTION (UPPER BYTE)					PARITY					WORDS 8,11,16 OR 21															
PSEUDORANGE CORRECTION (LOWER BYTE)					RANGE-RATE CORRECTION					ISSUE OF DATA					PARITY					WORDS 7,12,17 OR 22															
• • •																																			
RANGE-RATE CORRECTION					ISSUE OF DATA					FILL					PARITY					WORDS 24 = 2 IF N ₁ = 1,4,7 OR 10															
ISSUE OF DATA					FILL										PARITY					WORDS 26 = 2 IF N ₁ = 2,5,8 OR 11															

* AS RECEIVED

* AS RECEIVED

A mensagem do tipo 01 apresenta os seguintes parâmetros, com os seus respectivos bits:

- correções às pseudodistâncias 16 bits;
- taxa de correções às distâncias 8 bits;
- identificação do satélite 5 bits;
- idade dos dados (IOD) 8 bits;

-sumário da saúde do satélite e

UDRE 3 bits;

-fator de escala 1 bit .

Utilizando-se os parâmetros desta mensagem, as correções às pseudodistâncias num tempo t são dadas pela equação (18).

$$PRC(t) = PRC(t_0) + [RRC * (t - t_1)] \quad (18)$$

onde:- $PRC(t)$ correções às pseudodistâncias no tempo t ;

- RRC taxa de alcance das correções sendo

$$RRC = [dPRC(t_0)] / dt;$$

- t_1 incremento ao contador Z na segunda palavra;

- $PRC(t_0)$ correções às pseudodistâncias no tempo t_0 ;

A pseudodistância medida por um receptor é corrigida e dada pela equação(19).

$$PR(t) = PRM(t) + PRC(t) \quad (19)$$

onde: - $PR(t)$ pseudodistância num tempo t ;

- $PRM(t)$ pseudodistância medida num tempo t em metros;

- $PRC(t)$ conforme (18), pseudodistância corrigida no tempo t .

A equação (19) é válida para todos os satélites.

Esta mensagem fornece ainda informações quanto à idade dos dados, o que permite aos usuários avaliar se a estação de referência está realizando as correções com os dados mais recentes.

Mensagem Tipo 02 - Delta Correções Diferenciais

Quando à série de dados de efemérides dos satélites e do relógio com que o usuário está operando, são mais velhos que a série de dados que a estação de referência está utilizando. Esta mensagem tipo 02 possibilita ao usuário modificar as correções recebidas.

Como já se viu o parâmetro IOD identificará os dados. A estação de referência transmitirá a mensagem, tão logo ela comece, utilizando novos dados da mensagem de navegação GPS.

Ter-se-á para as correções às pseudodistâncias e as taxas de alcance das correções as equações (20) e (21).

$$\delta PRC = PRC(IOD_{\text{velho}}) - PRC(IOD_{\text{novo}}) \quad (20)$$

$$\delta RRC = RRC(IOD_{\text{velho}}) - RRC(IOD_{\text{novo}}) \quad (21)$$

onde: -IOD Idade dos Dados;
 -PRC Correções às pseudodistâncias; e
 -RRC Taxa de alcance das correções.

No DGPS ter-se-á o usuário da estação móvel com os novos dados da mensagem de navegação GPS, através dos quais são calculadas as pseudodistâncias quando a estação de referência coloca à disposição a mensagem tipo 01. Caso ocorra alguma falha, a pseudodistância do usuário passa a ser calculada com os antigos dados de navegação (IODvelhos) porém, continuam sendo transmitidas as correções da nova mensagem de navegação (IODnovo). Apesar disso a mensagem da estação móvel não se modifica. Pode haver um aperfeiçoamento para maior precisão caso se tenha:

$$PRC(t) = [PRC(IOD_{\text{novo}}) + \quad \quad \quad (\text{mensagem tipo 01}) \\
\delta PRC(IOD_{\text{velho}})] + \quad \quad \quad (\text{mensagem tipo 02}) \quad (22)$$

$[RRC(IOD_{novo})] * [t - t_1] +$ (mensagem tipo 01)

$[\delta RRC(IOD_{velho})] * [t - t_2]$ (mensagem tipo 02)

sendo: $-t_2$ incremento ao contador Z da mensagem tipo 02.

Os parâmetros que constituem esta mensagem são:

-delta correções das pseudodistâncias (δPRC) com 16 bits;

-delta correções das taxas de alcance (δRRC) com 8 bits;

-idade dos dados (IOD) com 8 bits;

-fator de escala com 1 bit;

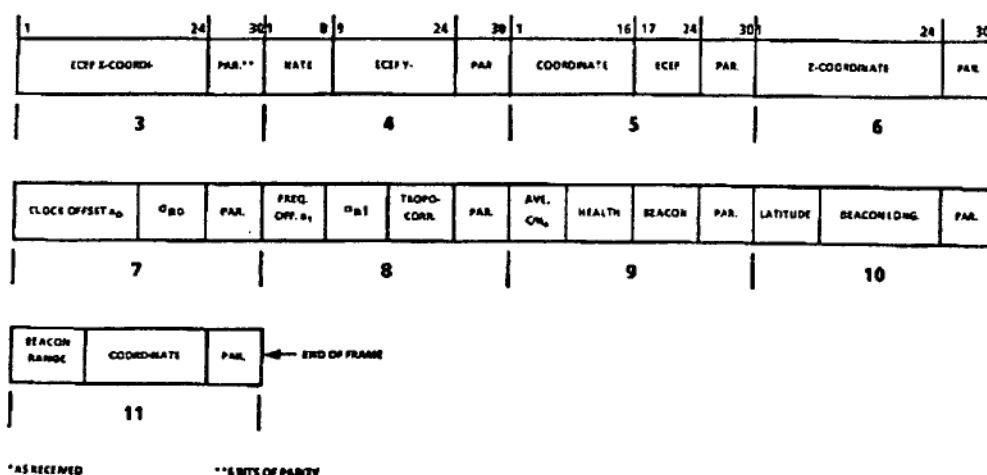
-User differential range error (UDRE) com 2 bits; e

-identificação do satélite com 5 bits.

Mensagem Tipo 03 - Parâmetros da Estação de Referência

A mensagem tipo 03 possui um comprimento fixo e contém informações essenciais sobre a estação de referência. Pode-se observar na figura 19 o formato deste tipo de mensagem.

FIGURA 19 Formato da Mensagem Tipo 03



A figura 19 apresenta as coordenadas da estação de referência em relação ao centro de massa da Terra, com uma precisão ao nível do centímetro.

Mensagem Tipo 05 - Saúde da Constelação

Este tipo de mensagem proporciona ao usuário informações sobre a saúde dos satélites visíveis para a estação de referência, bem como uma estimativa da saúde para os próximos satélites que estarão visíveis. Esta mensagem é transmitida periodicamente e contém os seguintes parâmetros:

- saúde dos dados 3 bits;
- identificação do satélite 5 bits; e
- relação sinal/ruído 5 bits.

A saúde dos dados representa os três mais significativos bits dos 8 do almanaque de saúde da mensagem de navegação GPS.

Nesta mensagem os parâmetros não permanecem permanentes. Os dados são atualizados periodicamente para os satélites.

Mensagem Tipo 06 - Quadro Nulo

Esta mensagem definitiva não contém parâmetros, apenas informações contidas nas duas primeiras palavras. É utilizada para manter a sincronização do quadro quando não há mensagens enviadas.

Mensagem Tipo 16 - Especial (ASCII)

É uma mensagem livre de formato, utilizando o formato ASCII.

Considerações sobre a taxa de transmissão das mensagens.

A estação de referência envia as correções à estação móvel, porém faz-se necessário determinar quais mensagens são enviadas e quantas vezes. O típico é transmitir a mensagem tipo 01 sempre que possível, intercalando-a com as mensagens tipo 02, 03, 05 e 07. Supondo que a mensagem tipo 02 é transmitida uma vez por minuto, os tipos 03 e 05 alternadas uma vez por minuto e a tipo 07 a cada 5 minutos, a taxa de transmissão é de 50 bits por segundo. Para maiores detalhes ver RTCM-SC 104.

1.2.7.2) RECOMENDAÇÕES PARA O SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

Uma das maiores metas para o RTCM-SC 104 foi identificar o número de bandas de frequência que poderiam ser utilizadas para a transmissão das correções do sistema DGPS. Fatores como considerações práticas e políticas que tornam certas bandas mais atraentes que outras.

Algumas destas bandas foram alocadas para a rádio navegação e outras para a rádio localização. A rádio localização proporciona a posição da plataforma fixa ou em movimento, ao passo que a rádio navegação destina-se a orientação do veículo.

As bandas destinadas aos serviços de rádio localização foram identificadas por um grupo de trabalho de comunicação; que optaram pelas bandas do HF à microondas. Para tanto, foi necessário requerer autorização de uma autoridade local, que no caso brasileiro é o DMC/PR.

Para a rádio navegação, a identificação destas bandas é mais problemática. A grande atração é operar na banda de 285 à 335 kHz, embora possa haver interferências. Os problemas só serão minimizados se for utilizada uma comunicação de dados com alta integridade. Além disso não se tem uma frequência nas bandas VHF ou UHF destinadas à navegação, sendo necessário portanto fazê-lo.

Para maiores informações ver RTCM-SC 104.

1.2.7.3) RECOMENDAÇÕES PARA PSEUDO-SATÉLITE (PSEUDOLITE)

A estrutura desta mensagem é a mesma que para o sistema diferencial GPS. Suas aplicações primárias são os terminais aéreos ,na orientação de aviões e helicópteros.

Foi desenvolvido com a principal intenção de vencer os problemas referentes a deficiências na geometria quando não se contava com a constelação completa. Obtinha-se desta forma uma excelente navegação durante estes períodos de pobre cobertura. Nos dias de hoje, já se conta com 24 satélites no espaço, o que elimina tal problema.

Este sistema apresenta vantagens em relação ao convencional quando há um veículo operando em um terreno montanhoso.

A estrutura deste sinal pode proporcionar uma mensagem de correções DGPS e uma linha para posicionamento para os usuários locais, minimizando a interferência quando os receptores estão próximos do pseudo-satélite. Para maiores detalhes ver RTCM-SC 104.

1.2.8) SISTEMA DE COMUNICAÇÃO DGPS

Conforme a seção 1.2.2 ,deste capítulo, no sistema DGPS faz-se necessário a comunicação entre as estações de referência e a móvel, a fim de que as correções das pseudodistâncias sejam transmitidas.

Com um sistema de comunicação estabilizado entre as estações, obtém-se a posição do móvel, em tempo real, com uma precisão inferior a 10 metros. Para muitos usuários esta comunicação tem sido um dos grandes problemas do sistema.

Nos últimos anos os fabricantes de receptores, as universidades e as empresas de levantamentos têm experimentado os sistemas de comunicação para o DGPS utilizando diferentes partes do espectro eletromagnético (ver figura 20 e tabela 08).

FIGURA 20 O Espectro Eletromagnético

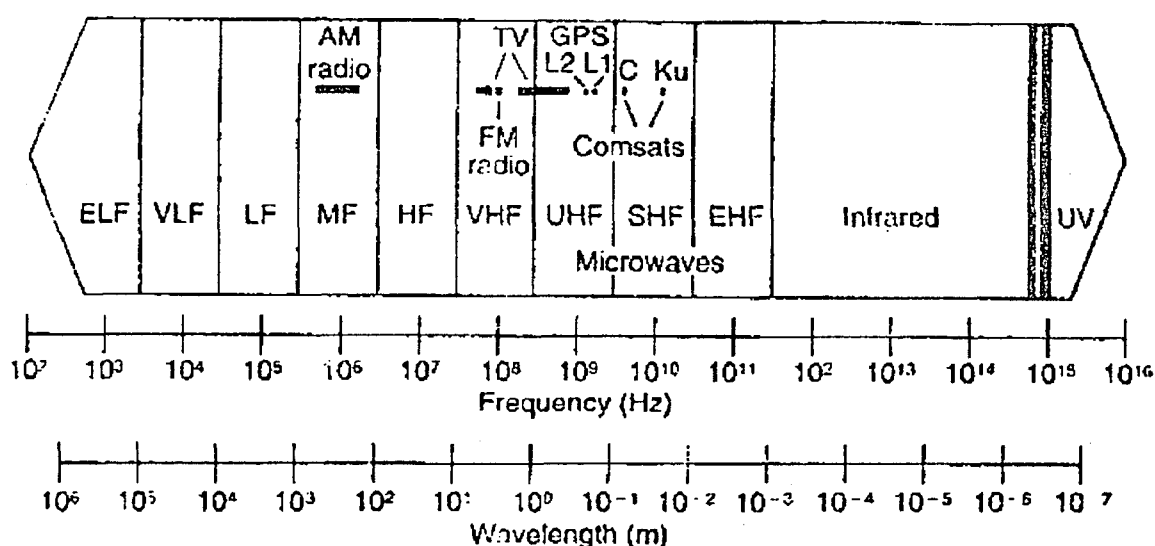


TABELA 08 Denominação das Faixas de Frequência

DEFINIÇÃO DA GAMA	ABREVIÇÃO	DEFINIÇÃO DA ONDA	FREQUÊNCIA	COMPRIMENTO DE ONDA
muito baixa	VLF	ultra longa	abaixo de 30kHz	acima de 10000m
baixa	LF	longa	30 a 300kHz	1000 a 10000m
média	MF	média	300 a 3000kHz	100 a 1000m
alta	HF.	médio-curta	3 a 30MHz	10 a 100m
muito alta	VHF	curta	30 a 300MHz	1 a 10m
ultra-alta	UHF	curtíssima	300 a 3000MHz	10 a 100cm
superalta	SHF	ultra curta	3000 a 30000MHz	1 a 10cm
extrem. alta	EHF	micro	acima 300000MHz	abaixo de 1cm

A princípio os sistemas de comunicação para o DGPS podem operar em qualquer região deste espectro. Contudo, deve-se levar em conta a largura da faixa, as técnicas de modulação (modulação em amplitude, frequência ou de fase) e o alcance da transmissão.

A escolha do melhor sistema de comunicação dependerá de uma série de fatores, como:

- região a ser levantada;
- finalidade do levantamento;
- complexidade do sistema;
- custo; e
- a velocidade necessária para a recepção do sinal.

Quando definido qual é o melhor sistema, deve-se aplicar o formato para o sistema de comunicação conforme o RTCM-SC 104, já visto na seção 1.2.6.2.

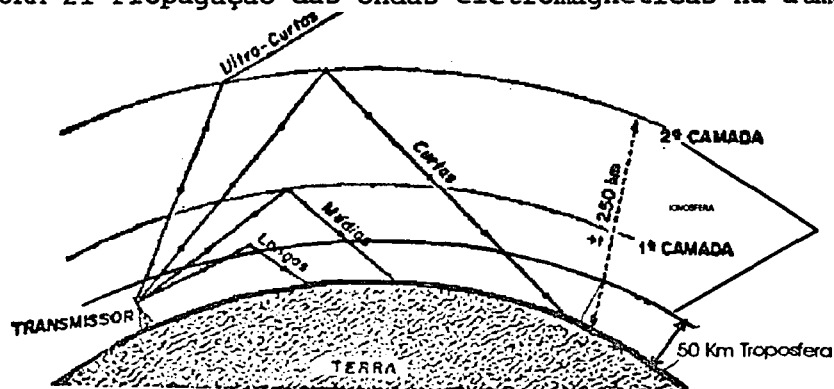
1.2.8.1) PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NA ATMOSFERA

Na seção 1.2.4.5 tratou-se da constituição da atmosfera e das características das camadas. Do exposto é possível concluir que a ionosfera (50 a 1000 km), por ser uma camada altamente ionizada, permitirá uma canalização para as ondas eletromagnéticas.

Appleton concluiu que a camada da ionosfera possui duas subcamadas. A primeira entre 80 a 100 km, que recebeu o nome de Kennelly Heaviside, e a segunda em mais ou menos 250 km de altura, que recebeu o nome de Appleton. Pode-se observar na figura 21 a posição destas camadas, bem como, o comportamento das ondas na sua propagação.

As ondas longas retornam à terra antes de atingirem a primeira subcamada, as médias são refletidas nesta subcamada e retornam à Terra. Já as ondas ultracurtas sofrem um desvio e atravessam a segunda subcamada, mas não se refletem, e as ondas curtas atravessam a primeira subcamada e são refletidas pela segunda subcamada.

FIGURA 21 Propagação das ondas eletromagnéticas na atmosfera



O percurso das ondas será maior ou menor devido às variações que essas subcamadas sofrem. No primeiro caso ter-se-á uma maior absorção e um maior enfraquecimento da onda, no segundo o enfraquecimento será menor. Quando há muita variação nestas subcamadas a transmissão será, ora forte, ora fraca, chegando, às vezes, a desaparecer completamente e retornando com intensidade sempre variável. Este fenômeno é conhecido como o desvanecimento da onda.

Muitos estudos foram e estão sendo desenvolvidos com respeito a este problema. Atualmente encontra-se no mercado um programa que possibilita a obtenção da melhor frequência para a comunicação em função do dia e da hora.

1.2.8.2) COMUNICAÇÃO COM FAIXA DE FREQUÊNCIA BAIXA (LF) E MÉDIA (MF)

A tabela 08 indicou as frequências e os comprimentos de ondas correspondentes a estas faixas. Encontra-se dentro destas faixas a estação de rádio AM e as transmissões aéreas e marítimas. A aeronáutica utiliza frequências de 190 a 415 kHz e de 510 a 535 kHz, enquanto a marinha de 275 a 335 kHz.

Na figura 21 pode-se observar que nestes dois casos as duas faixas não vão além da primeira subcamada da ionosfera e retornam à terra. Logo, o sinal é digno de confiança em presença da atmosfera e não sofre desvios. O único problema é que nas ondas longas a energia propaga-se em ondas terrestres, atenuadas rapidamente pelo fato de o solo ser um mau condutor. Logo, não são eficazes para a transmissão a grandes distâncias, a não ser que se utilize muita potência.

A utilização no DGPS fica então limitada principalmente pela distância entre as estações, mas também pelo tipo do terreno e pela relação sinal/ruído no sinal do rádio recebido. Em geral, para distâncias maiores que 150 km sobre a água e de 20 a 100 km em terra elas podem ser utilizadas.

Utilizando-se a onda terrestre para a faixa MF, é possível obter distâncias entre as estações de 400 km sobre a água e 50 km sobre a terra. Porém, se forem utilizadas as ondas ionosféricas refratadas ou celestes será possível obter distâncias maiores. Durante horas ao dia a ionosfera absorve quase que totalmente as componentes da onda celeste do sinal MF. À noite esta transmissão é excelente, visto que a densidade dos elétrons diminui, permitindo a refratação da onda. A distância para este tipo de onda é acima de 2000 km. Porém, estas ondas são mais suscetíveis ao desaparecimento que as ondas terrestres, além de serem conseqüentemente mais propensas a erros na transmissão das correções.

1.2.8.3) COMUNICAÇÃO COM FAIXA DE FREQUÊNCIA ALTA (HF)

Conforme foi dito anteriormente, esta faixa possui uma frequência de 3 a 30 MHz e é uma onda média-curta. A comunicação nesta faixa conta quase que unicamente com ondas refratadas pela ionosfera. Na figura 21 está demonstrado que ela ultrapassa a primeira subcamada da ionosfera, penetrando na segunda.

Para este caso, ter-se-á um alcance de transmissão das distâncias de 100 km ou mais.

Neste sistema de comunicação para o DGPS pode ocorrer o desaparecimento do sinal conforme as condições ionosféricas, além de possíveis interferências.

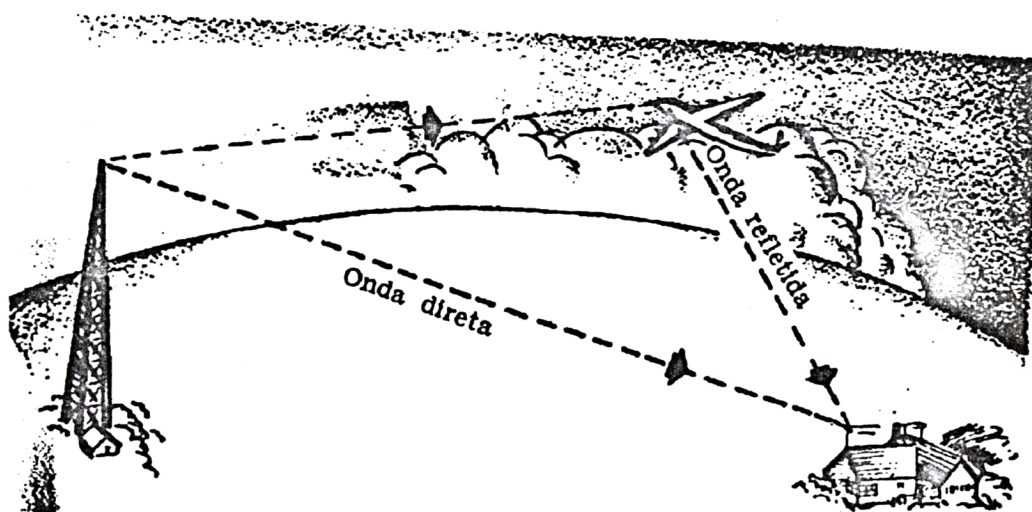
Os equipamentos comerciais DGPS com rádio operam na região de 2MHz e são utilizáveis em algumas áreas.

1.2.8.4) COMUNICAÇÃO COM FAIXA DE FREQUÊNCIA MUITO ALTA (VHF) E ULTRA-ALTA (UHF)

Pode-se observar, na tabela 08, as frequências, os comprimentos de onda e a definição das ondas para ambos os casos.

Nestas situações as ondas terrestres e ionosféricas não são úteis, sendo utilizada para a transmissão da onda direta, que se propaga em linha reta da antena transmissora para a antena receptora, conforme se pode ver na figura 22.

FIGURA 22 Onda Direta



Estes casos são limitados então pela linha de visada entre os transmissores e os receptores. A distância horizontal entre estes é dada, segundo Langley, pela equação (23).

$$D = 4,1 ((ht)^{1/2} + (hr)^{1/2}) \quad (23)$$

onde -D distância horizontal em km;

-ht altura da antena de transmissão em metros; e

-hr altura da antena de recepção em metros.

A confiabilidade na comunicação pode ser afetada pelo efeito multicaminho. No trabalho com longas distâncias é possível utilizar estações repetidoras ou antenas direcionais para o sistema de comunicação com VHF e UHF.

Um grande benefício para as comunicações na extensão do espectro eletromagnético é a disponibilidade de alta taxa de dados com protocolos automáticos que eliminam os erros. Diversas companhias oferecem rádios com múltiplos canais que devem ser usados na comunicação DGPS.

1.2.8.5) COMUNICAÇÃO COM SATÉLITES MÓVEIS - FAIXA L DE 1GHz À 2 GHz

Em outubro de 1957 o Sputnik I foi lançado numa órbita de 900 km acima da superfície terrestre. Foi o primeiro satélite artificial a ir ao espaço. A partir deste ano muitos países começaram a desenvolver-se industrialmente na área de satélites. Hoje, trinta e seis anos depois, existem cerca de 1800 satélites lançados com inovações na tecnologia.

Claro que estes satélites são lançados com diversas finalidades, como: estudos meteorológicos, navegação, militares, extraterrestres, comunicação e outros.

Para este trabalho interessam os satélites de comunicação que também apresentam uma grande evolução. Enquanto em 1980 tinham uma capacidade de 12500 canais de voz em "full duplex", em 1992 o Intelsat 6 aumentou esta capacidade em cerca de 10 vezes, passando para 120000.

Preve-se para os próximos anos satélites operando na faixa L de frequência, proporcionando 2000 canais independentes para comunicações móveis. Há também planos para uma rede de micro satélites no espaço, com altitudes na faixa de 640 km.

Atualmente a transmissão das correções da estação de referência ao usuário pode ser feita através de um sistema geoestacionário de satélites proporcionado pela Inmarsat.

Ela proporciona dois tipos de comunicação, o Inmarsat-A e o Inmarsat-C. O primeiro fornece a comunicação em tempo real em duas direções, utilizando antenas direcionais com cerca de 1 metro de diâmetro; já o Inmarsat-C recebe a mensagem, armazena-a e a envia após alguns instantes, utilizando antenas omnidirecionais.

No Inmarsat a telemetria utiliza frequências de 1530 a 1545 MHz da faixa L; o que se pode notar são frequências próximas a utilizada pelo sistema GPS (L1 frequência = 1575,42 MHz).

Há um grande número de usuários utilizando-os em diversas partes do oceano e em terra. Os dados são enviados em pacotes para o Inmarsat-A, utilizando 1200 bps.

Está surgindo no mercado um programa ainda mais ambicioso para a comunicação, o LEO's, uma constelação de 66 satélites em uma órbita próxima da Terra, que proporcionará baixo custo e caminhos de ida e volta para a comunicação dos dados, além de utilizar terminais portáteis.

Em fevereiro deste ano a Orbcomm lançou a bordo do Pegasus, um satélite de teste LEO, que retransmitirá dados GPS entre dois terminais portáteis. Outros testes analisam a utilização de um telecomando na frequência de 137 a 138 MHz e uma telemetria entre 148 e 150,5 MHz. Embora a companhia ainda esteja testando a qualidade do sinal, programa, nível de energia e outras características para a transmissão, ela pretende colocar no espaço mais um satélite ainda no ano de 1993.

A Orbcomm está investindo alto em seu sistema, apostando nos usuários que desejam receber e enviar mensagens por pequenos terminais, transmitir mensagens de emergências, efetuar transmissão das correções do sistema DGPS, monitoramento de trajetórias de veículos móveis e outros.

O sistema LEO's é constituído de pequenos e grandes LEO's, que diferem quanto à faixa de frequência que utilizam. O primeiro utiliza a faixa VHF e UHF de 137-138 MHz, 400,15-401 MHz e 148-149,9 MHz. O segundo utiliza o UHF de 1610-1626,5 MHz e 2483,5-2500 MHz.

Utilizando estas faixas a Orbcomm está proporcionando a utilização de um sistema de transmissão de dados de baixo custo.

Há outros sistemas sendo projetados para o futuro que talvez venham a contribuir para a comunicação no sistema DGPS.

Com estes sistemas de comunicação pode-se utilizar diferentes partes do espectro. Para o futuro talvez o usuário possua o seu próprio sistema de comunicação.

Para o futuro é interessante aos usuários do sistema DGPS tentar estabelecer qual a faixa necessária para a transmissão das correções da estação de referência para a móvel e tentar junto aos órgãos competentes mantê-la exclusiva para este sistema.

Para maiores detalhes sobre estes sistemas de comunicação, ver Hoppe(1993), Howes(1992), Chase(1992), Frieden(1992), Langley(1993) e Montgomery(1993).

1.2.9) APLICAÇÕES

O DGPS tem sido amplamente empregado em levantamentos aéreos, marítimos e terrestres, pois trata-se de uma técnica que está em pleno desenvolvimento.

Cada um desses grupos está interessado neste sistema, porém, dependendo do levantamento a ser desenvolvido ele pode requerer uma precisão baixa (posição 100 m e velocidade 1 m/s), média (posição 1 a 10 m e velocidade 0,1 m/s) ou alta (posição 0,1 m e velocidade 0,01 m/s), segundo Seeber(1993).

Estes são alguns levantamentos efetuados com esta técnica:

- monitoramento de frotas de caminhões;

- melhoramento do sistema de emergência quanto ao vazamento de gases e óleos;
- melhoramento no sistema de trânsito; e
- levantamentos aéreos e sensoriamento remoto.

1.2.9.1) MONITORAMENTO DE FROTAS DE CAMINHÕES

Este sistema foi aplicado pela transportadora Büchner, que utiliza 50 caminhões no transporte de plantas aquáticas, terrestres, frutas e verduras através da Europa.

Nesse caso o sistema DGPS foi implantado utilizando-se o sistema de comunicação Inmarsat-C.

Este sistema tem como principais funções:

- fixar a posição do veículo a intervalos indicados pela estação de controle (5 minutos até 2 horas);
- mostrar esta posição em latitude, longitude e a distância entre as estações móvel e de controle;
- mostrar num mapa as últimas 10 posições com datas e tempos;
- controle da temperatura no compartimento de carga, de tal forma que se os limites forem ultrapassados soa o alarme;
- controle da velocidade do veículo; e
- mostrar num mapa as rotas dos caminhões.

Esta empresa teve os seguintes custos com o sistema:

- custos fixos..... US\$ 2.198 por caminhão por ano;
- custos variáveis:

- chamada de dados...US\$ 6,89 por caminhão por dia para 6 mensagens por dia ;e

-comunicação por satélite...

US\$11,35 por caminhão por dia, com um mínimo de 2 chamadas por dia.

Apesar dos investimentos efetuados, a empresa está satisfeita com o sistema e com idéias para o futuro. Para maiores detalhes ver Beerens (1993).

1.2.9.2) MELHORAMENTO DO SISTEMA DE EMERGÊNCIA QUANTO AO VAZAMENTO DE GASES E ÓLEOS.

Óleos e gases industriais podem apresentar o gás H_2S , que causa problemas de paralização no sistema respiratório. Possíveis vazamentos devem ser detectados e contidos quase que imediatamente. Para isto necessita-se de um sistema integrado GPS, com um sistema de informações geográficas e um sistema de comunicação. Este está sendo testado pela empresa Amoco Canada Petroleum Ltda.

Com o GPS o operador do veículo determina a posição, transmitida à estação de controle, que alerta um operador de campo próximo e fornece instruções da posição que o operador do veículo deve seguir. Um alarme é ativado automaticamente quando um vazamento é detectado.

O sistema foi implantado utilizando rádios com UHF para a transmissão das correções.

Todos os fatores estão sendo avaliados pela companhia que tomará decisões quanto a total implementação deste sistema baseado no GPS para o futuro. Para maiores detalhes ver Krakiwsky, Chalmers (1993).

1.2.9.3) MELHORAMENTO NO SISTEMA DE TRÂNSITO

A empresa Dallas Area Rapid Transit instalou o GPS incorporado ao AVL. Esta empresa possui uma rede de ônibus e furgões que transportam mais de 175000 pessoas, servindo 14 cidades.

Para o sistema de comunicação esta empresa optou por uma comunicação por rádios integrados, operando com uma frequência de 900 MHz (UHF), os quais permitem a comunicação entre os veículos e a estação de controle, bem como a transmissão das correções às pseudodistâncias. A estação de controle situa-se no centro de Dallas e possui computadores com mapas das cidades, nos quais há a locação dos veículos em operação.

Com este sistema integrado há condições de supervisão e manutenção dos veículos, avaliação do estado do veículo, sua localização pelo GPS, identificação, rota e número do veículo e linha. Para maiores informações ver Ledwitz (1993).

1.2.9.4) LEVANTAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO

A United States Department of Agriculture Forest Nationwide Forestry Applications Program tem utilizado esta técnica DGPS para coletar e mostrar os dados de posicionamento, bem como registrá-los.

Uma câmara e um receptor DGPS foram instalados a bordo de uma aeronave. O sistema de vídeo utiliza uma câmara S-VHS para obter alta qualidade e imagens com cor natural. Para a comunicação foram utilizados rádios com VHF.

A combinação do DGPS com o vídeo na aeronave produziram um método econômico para a coleta de imagens georeferenciadas.

Concluíram que o DGPS é um método eficaz para obter imagens de sensoriamento remoto georeferenciadas de aeronaves.

As coordenadas do DGPS são registradas diretamente nas fotos aéreas; vídeo ou dados digitais proporcionam um caminho para localizar rapidamente e com precisão as características vistas na imagem. Para maiores detalhes ver Bobbe (1992).

CAPÍTULO 2

2.1) SISTEMA HOJE EXISTENTE NA RFFSA

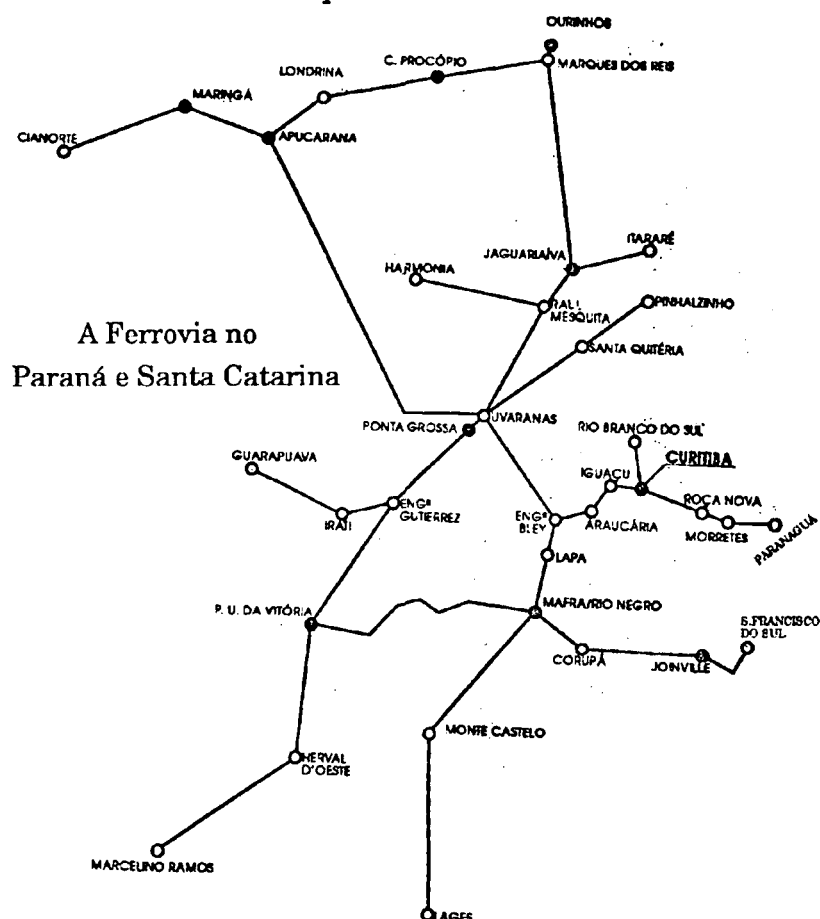
A Rede Ferroviária Federal S/A é dividida em regionais, que atendem determinadas linhas. O sistema ferroviário que atende os estados do Paraná e Santa Catarina está sob jurisdição da Superintendência Regional de Curitiba (SR-5). Esta regional é um destaque no Brasil pela sua produtividade e por ser financeira e economicamente viável.

Os trechos compreendidos por esta regional são:

- Iguaçu - Paranaíba - Ramal Rio Branco do Sul;
 - Iguaçu - Uvaranas - Rio Negro;
 - Desvio Ribas - Guarapuava - Uvaranas e Apucarana;
 - Uvaranas - Harmonia - Ourinhos - São Paulo (Fepasa);
 - Rio Negro - São Francisco do Sul
- Rio Negro - Lages (SR-6); e
- Rio Negro - Marcelino Ramos.

Estes trechos podem ser observados na figura 23, e com mais detalhes no anexo 01.

FIGURA 23 Esquema das Linhas da SR-5



O controle do movimento diário dos trens na SR-5 é feito pelo Centro de Controle Operacional - CCO, situado em Curitiba.

No CCO são elaborados gráficos de trens para cada um dos trechos. O gráfico cobre um período de 24 horas, cuja programação é feita com no mínimo 12 horas de antecedência. Ele apresenta uma escala para horas de 1 mm igual a 1 minuto e para distâncias 2 mm igual a 1 km, bem como o nome das estações ao longo do trecho, as distâncias e o km onde eles se situam.

Nesta programação tem-se a representação dos trens, bem como a sua formação. Faz-se referência a:

- tipo de mercadoria;
- onde se origina o trem;
- destino do trem;
- quantidade de trens;
- número das locomotivas;
- quantidade de vagões com peso líquido e bruto;
- destino dos vagões;
- indicação do último vagão - caudã; e
- número do maquinista e auxiliar.

São coletadas todas as informações necessárias para escalar os trens, p.ex: tipo da carga, origem e destino. Porém, ao elaborar a programação, o CCÔ dá prioridade à carga dos inflamáveis, bem como aos trens de passageiros.

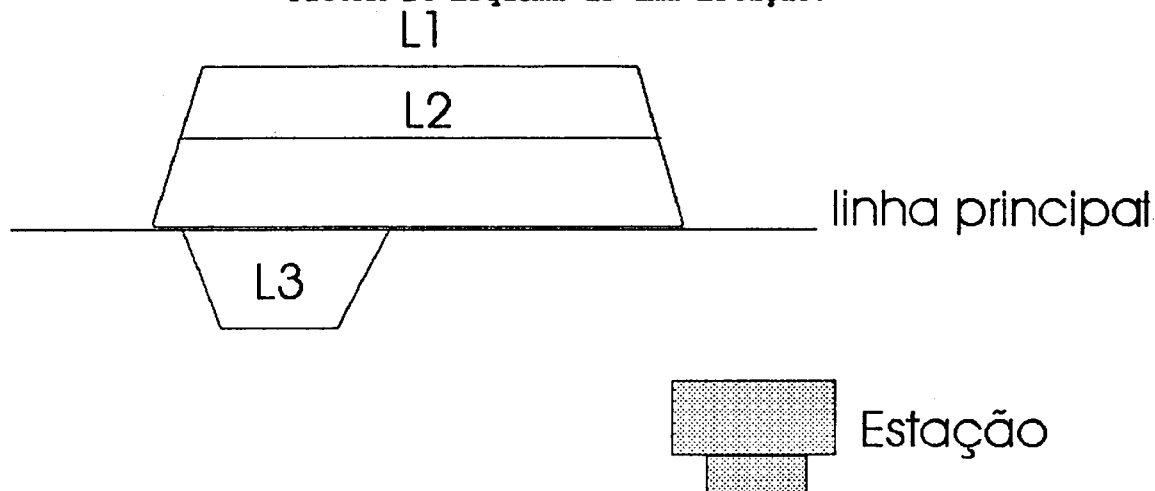
No CCO há um setor que realiza o acompanhamento das cargas, preocupando-se com o tipo da carga, a sua localização, o seu destino, os prazos de entrega, a sua distribuição nos vagões quanto ao seu peso e outros.

No Centro de Controle Operacional existem 5 cabines seletivas, que realizam a comunicação entre o CCO e os agentes das estações, bem como, após a partida do trem, passam a ser responsáveis por ele. Os maquinistas possuem um equipamento seletivo para manter comunicação de tempos em tempos com a cabine, sendo utilizados também quando há acidentes e problemas com as locomotivas entre as estações.

Em cada cabine encontra-se uma mesa com um aparelho seletivo, telefones externo e interno e esquemas com os pátios. Este esquema dos pátios contém as linhas, suas

derivações, estações e vagões por linha. Observa-se na figura 24 um destes esquema, retirado de uma das cabines seletivas.

FIGURA 24 Esquema de uma Estação.



Nestas cabines há um plantão de 6 em 6 horas.

A programação é executada no dia seguinte, sofrendo pequenas alterações quando necessário. Permanece, no gráfico, o traçado do percurso do trem estabelecido na programação e é acrescido o seu traçado durante o seu deslocamento.

Quando um trem é escalado para uma certa hora, de uma origem para um destino, há a formação da sua composição na estação de origem, bem como a liberação de locomotivas do depósito de manutenção e o escalonamento do maquinista pela encarregadoria.

Estando o trem perfeitamente composto, o agente da estação de origem comunica-se com o CCO pelo aparelho seletivo, solicitando a liberação do mesmo. Faz-se necessário também a sua comunicação com o aparelho magneto ou pode, com a próxima estação, solicitando o prosseguimento do trem. Havendo condições este agente preenche uma licença franca, condicional

ou de emergência, onde consta a origem, o destino, as condições sobre o trecho e a velocidade a ser observada , dependendo de cada situação.

Mediante esta licença o maquinista está liberado para partir. Quando de sua partida o agente da estação origem retorna ao aparelho seletivo e fornece à cabine seletiva, no CCO, os dados base, p.ex.: número de locomotivas, lotação, maquinista, indicação do último vagão e outros.

No trecho de Piraquara a Paranaguá foi implantado em 1970 um equipamento que libera por energia um bastão de metal. Esta energia é enviada pela estação para a qual o trem seguirá. O maquinista recebe este bastão juntamente com a licença, só podendo deslocar-se em posse destes.

Ao chegar na próxima estação, o maquinista deverá entregá-los e obter os próximos para seguir em sua rota.

Este equipamento foi implantado neste trecho, porque se trata de um dos trechos do sistema ferroviário do SR-5 mais perigoso e de tráfego mais intenso.

Este equipamento pode ser observado nas figuras 25 e 26, bem como a forma como se processa a entrega deste bastão ao maquinista na figura 27.

FIGURA 25 O Aparelho Magneto

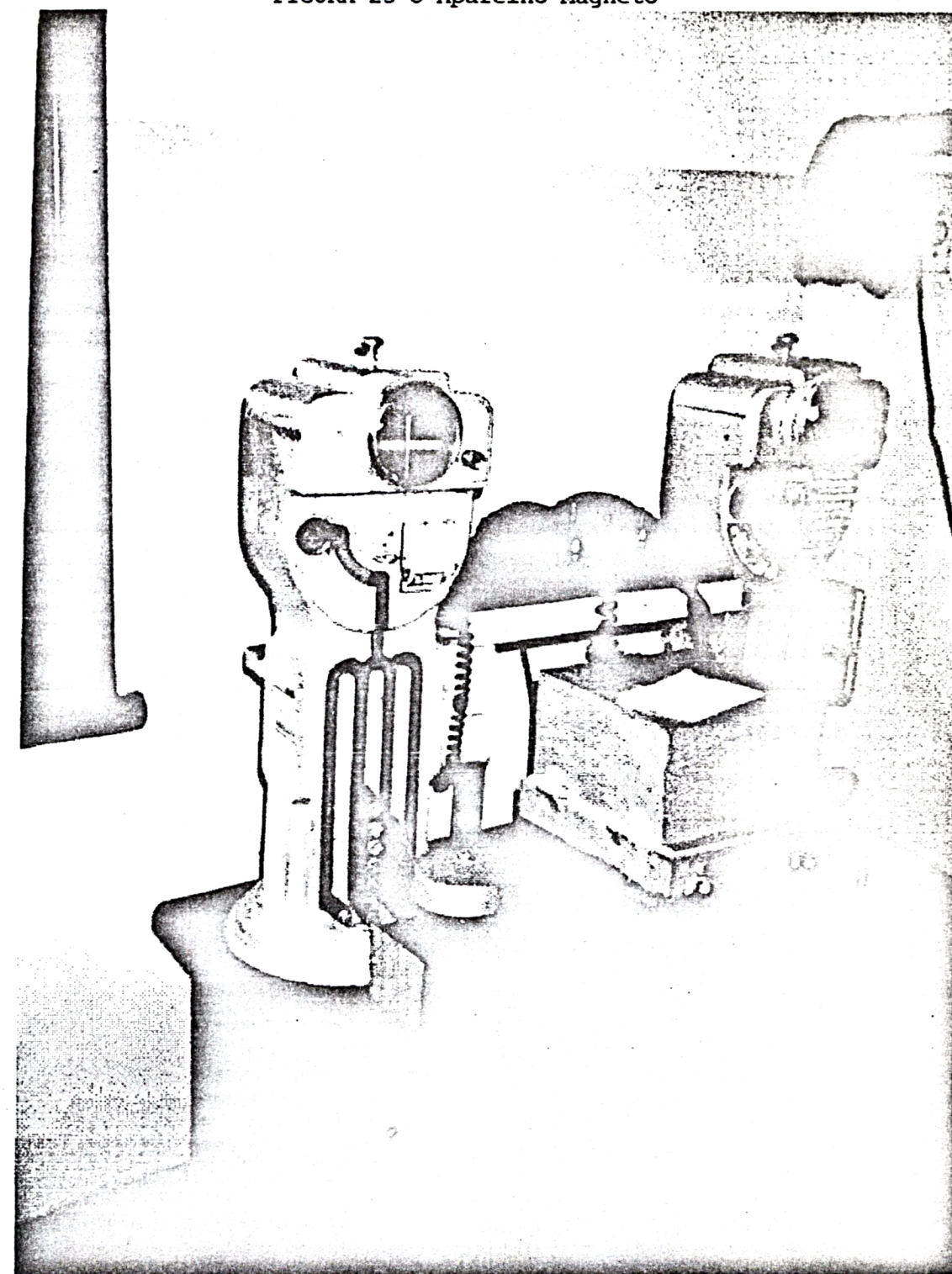


FIGURA 26 Operador Requisitando a Liberação do Trem à Estação Seguinte

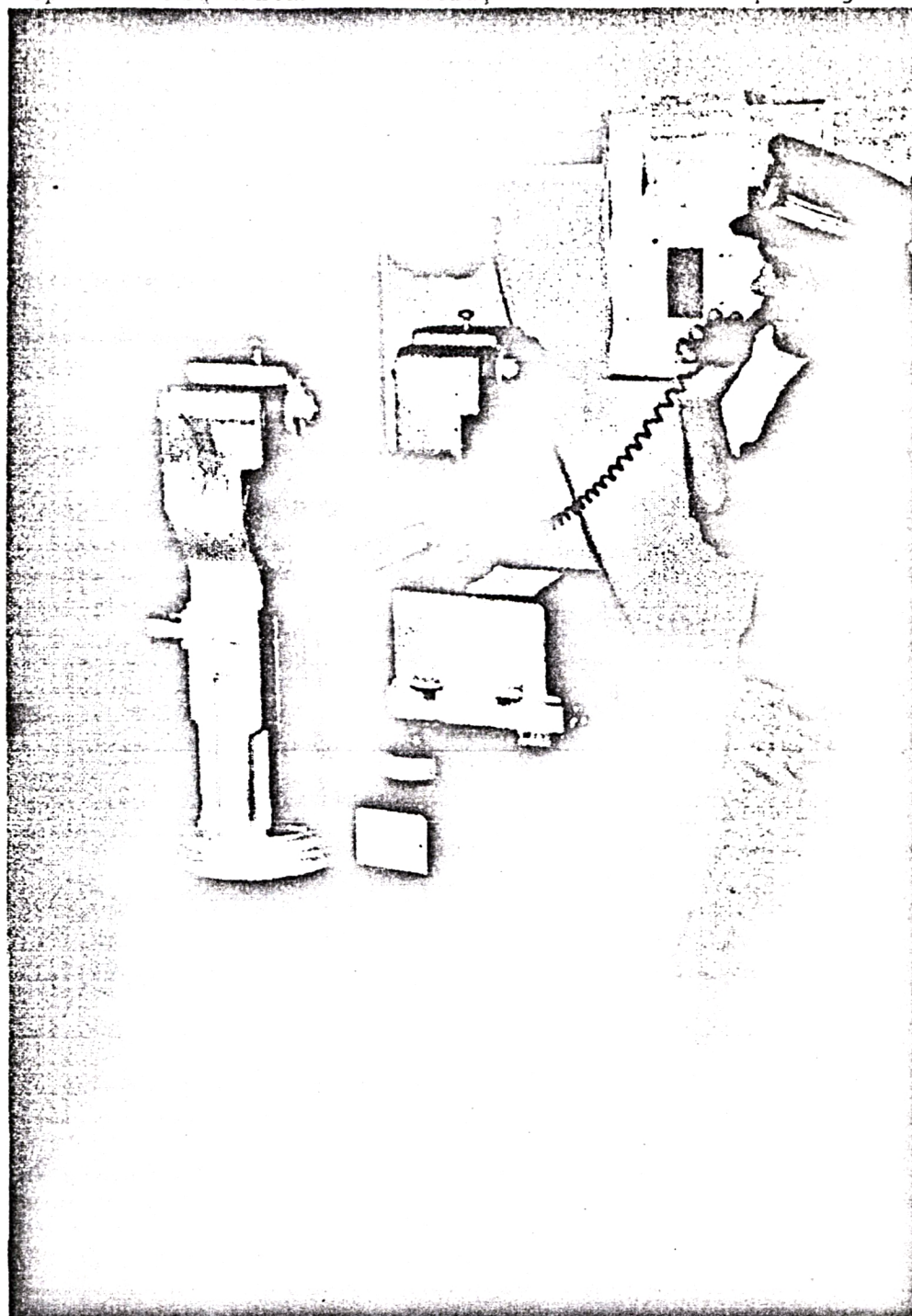
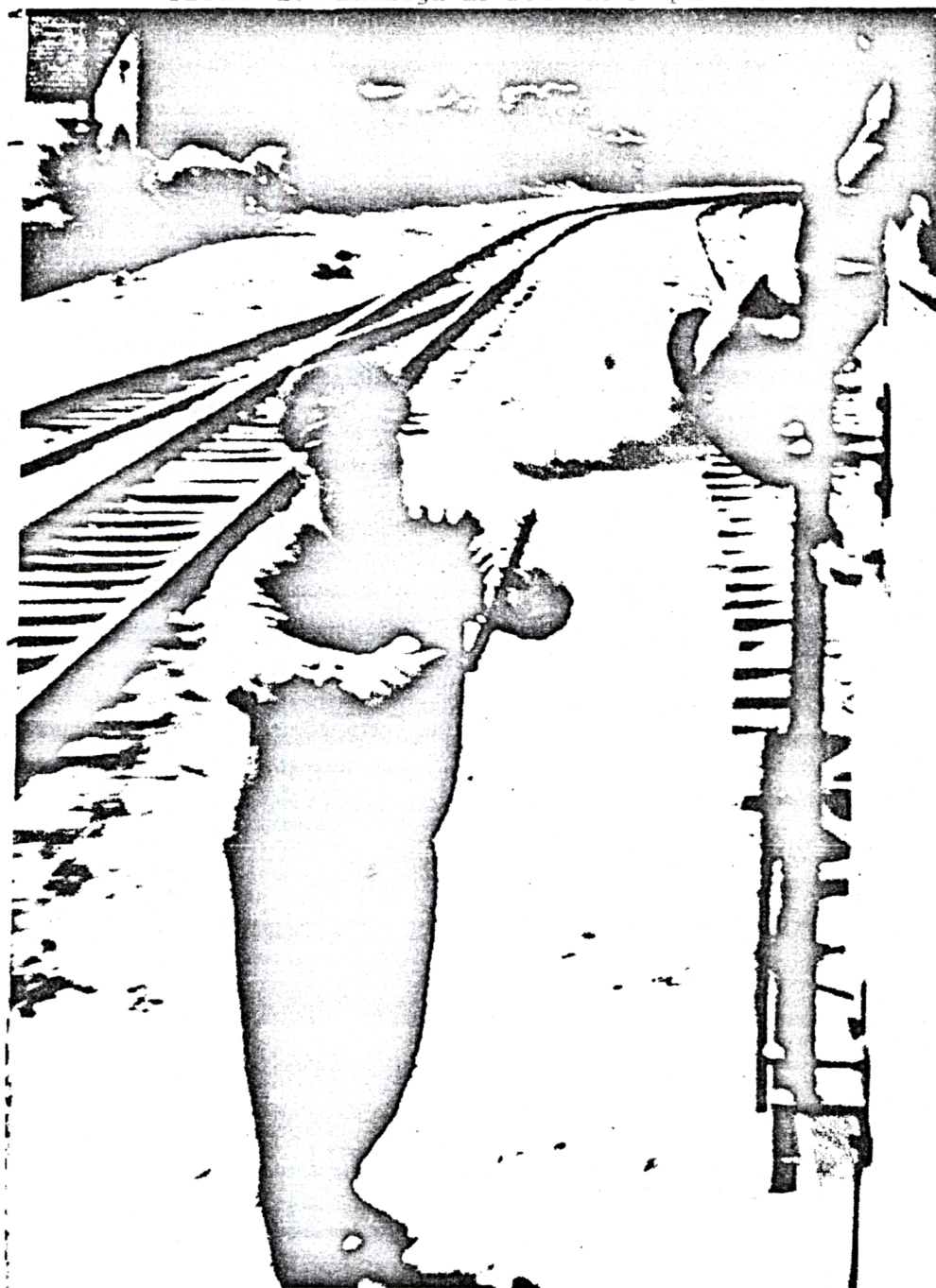


FIGURA 27 Entrega do Pode ao Maquinista



Trata-se de um sistema antigo, conforme constata este trabalho de campo, porém seguro. Um dos grandes problemas que a regional enfrenta neste trecho é a manutenção dos equipamentos e das linhas de comunicação. Nestas linhas há os

pinos isoladores da cruzeta, que são destruídos por pedestres. Antigamente eram constituídos de vidro ou porcelana. No primeiro caso havia o problema de estilhaçarem e no segundo de quebra. Por isso atualmente eles são constituídos de plástico, o que já minimiza os danos.

Em qualquer um dos trechos percorridos, só a cabine seletiva sabe quando um trem saiu de uma estação e está a caminho de outra, porém, ela desconhece qualquer outra informação, a menos que o maquinista precise comunicar-se com a mesma.

Outro fator é que se um trem for liberado para prosseguir por mais de duas estações nenhum outro será liberado no mesmo sentido ou em sentido contrário. Os próximos são liberados de acordo com as prioridades.

O CCO possui um sistema informatizado que fornece certas informações, como p. ex.:

- composição ordenada do trem;
- frota de cliente;
- operações do trem;
- situações dos trens; e
- frota de locomotivas existentes.

Algumas delas podem ser observadas no anexo 02.

2.2) NECESSIDADES E JUSTIFICATIVAS DA MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA

Dò exposto no item 2.1 pode-se constatar que apesar do sistema atual ser seguro, seria interessante a RFFSA contar com um sistema de controle de tráfego mais eficiente e

moderno. Um sistema que pudesse fornecer ao CCO a posição dos trens em tempo real, ao longo das trajetórias descritas simultaneamente, e que permitisse acoplar outros sistemas a este, para controle de velocidade, temperatura, tempos de chegada, desgaste. Ele poderia servir ainda de apoio a um sistema de informações geográficas.

Os usuários do transporte ferroviário são compostos em sua maioria por grandes empresas de distribuição de derivados de petróleo e cooperativas agrícolas.

Em épocas de safra há um escoamento de cerca de 50% da produção agrícola até o porto de Paranaguá, o que reduz cerca de mil caminhões por dia nas rodovias. Com um sistema como este, poder-se-ia tornar mais atraente as linhas férreas, reduzindo o fluxo de veículos ao longo de nossas rodovias, as quais não possuem infra-estrutura suficiente para os fluxos atuais.

Embora alguns não acreditem que o sistema ferroviário possa vir a ser o futuro do Brasil, se não há suficiente infra-estrutura para manter e ampliar as rodovias, aeroportos e portos, ela continua a ser uma alternativa válida.

Se países como os Estados Unidos, Alemanha e Japão têm nos trens o principal meio de transporte não só da população, mas também de mercadorias, porque o Brasil, um país com uma extensão territorial bem maior, não o faz? Seria apenas uma questão de remodelar os seus conceitos e prioridades e analisar os custos e benefícios que cada sistema proporcionaria.

O sistema base para o complexo ferroviário ser modernizado seria o DGPS. Quando se expôs as características deste sistema à regional de Curitiba, (SR-5) ela mostrou-se muito interessada.

As necessidades prioritárias para a RFFSA, quanto a este sistema, seria conhecer a posição dos trens em tempo real com uma precisão inferior a 5 metros.

Outro ponto que despertou o interesse da RFFSA diz respeito ao estudo da geometria e deformações dos trilhos, para o qual pode-se utilizar o sistema GPS com alta precisão.

Como havia interesses em comum e houve uma mútua cooperação entre as instituições (RFFSA SR-5 e a UFPr), foi possível realizar o levantamento com o DGPS ao longo das linhas, a fim de que se obtivesse o posicionamento dos trens em tempo real. Desta forma pôde-se desenvolver este trabalho e dar uma contribuição ao sistema DGPS no Brasil.

Os dados obtidos serão utilizados na obtenção de um sistema de informações geográficas, dando seqüência às necessidades do sistema ferroviário, e continuando desta forma com a cooperação entre as instituições, tão necessária nos dias de hoje.

CAPÍTULO 3

POSICIONAMENTO CINEMÁTICO DE TRENS

3.1) PRINCÍPIO

Baseando-se no exposto no capítulo 1, seção 1.2.2, ter-se-á para o princípio do sistema DGPS uma estação de referência situada num ponto de coordenadas conhecidas e uma estação móvel, a qual corresponde ao trem desenvolvendo o seu percurso.

Sobre a estação de referência instala-se um dos receptores DGPS, ou seja, o receptor de referência (RL), o qual envia as correções das pseudodistâncias à estação móvel. Nesta instala-se o receptor DGPS diferencial (DL), o qual receberá estas correções e calculará a posição corrigida do trem. O esquema para esta situação está demonstrado nas figuras 28 e 29.

É claro que para a transferência destas correções faz-se necessário a utilização de um sistema de comunicação. Os receptores DGPS utilizados já vieram acompanhados de rádio de comunicação, o que possibilitou a transmissão das correções às pseudodistâncias.

FIGURA 28 Sistema DGPS no Trem

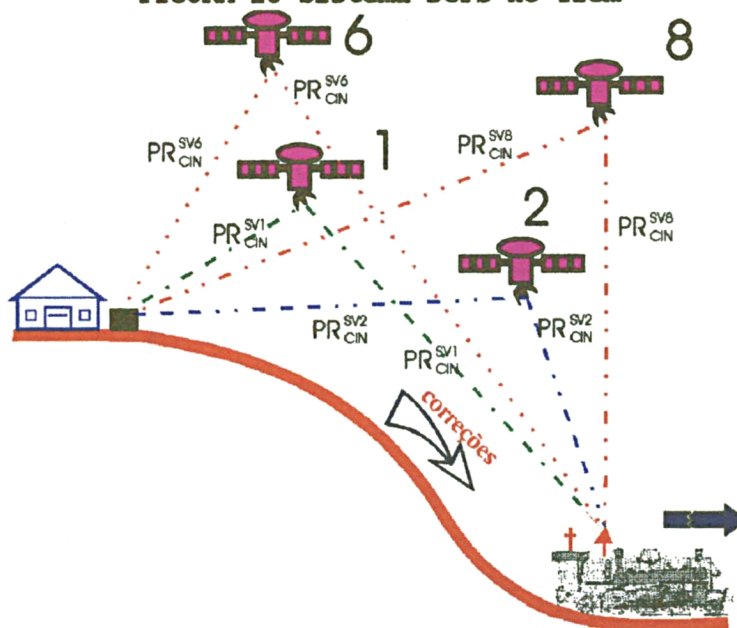
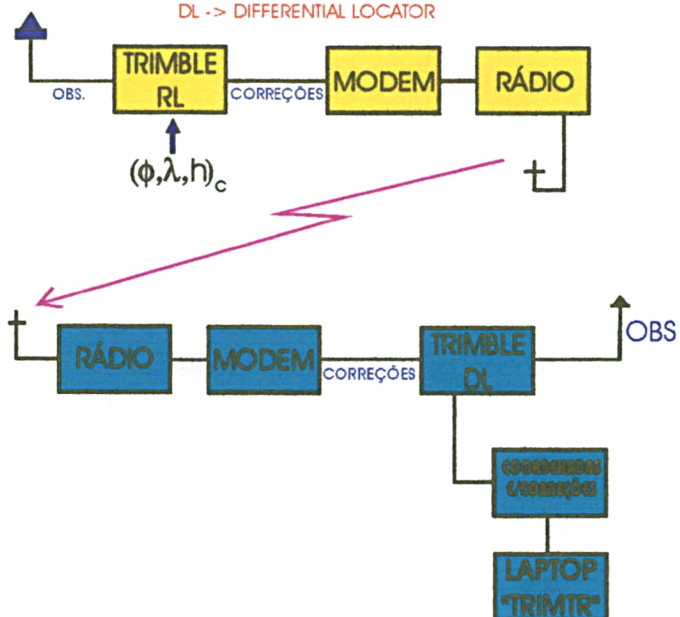


FIGURA 29 Sistema DGPS - 4000 RL/DL

TRIMBLE 4000 RL/DL

RL -> REFERENCE LOCATOR
DL -> DIFFERENTIAL LOCATOR

**3.2) EQUIPAMENTOS**

No presente levantamento foram utilizados os equipamentos relacionados a seguir:

- 2 Receptores Trimble SST;
- 2 Receptores Trimble DGPS - 4000 RL/DL;
- Sistema de Comunicação - Rádios e Modems; e
- Computadores.

3.2.1) RECEPTORES TRIMBLE SST

Estes receptores de alta precisão pertencem à UFPr e suas características já são de conhecimento geral. Vale a pena ressaltar que estes equipamentos são do tipo multicanais, operando com 8 canais, além de possuírem L_1 , L_2 e o código P.

Pode-se utilizar com eles a antena geodésica para dupla frequência ou a antena cinemática apenas com L_1 .

3.2.2) RECEPTORES TRIMBLE DGPS 4000 RL/DL

Foram utilizados os receptores **TRIMBLE 4000 DL-II/IIR e 4000 RL-II/IIR**, gentilmente emprestados pela empresa **AMBRIEX S/A.**, que possibilitam o posicionamento e a navegação terrestre, aérea e marítima. Além disso eles empregam uma tecnologia de última geração, são pequenos e leves e consomem pouca energia. Possibilitam uma precisão de 1 a 3 metros em duas dimensões e menor que 5 metros para três dimensões.

As principais características que o receptor de referência apresenta são:

- possui operação autônoma;
- calcula e envia as correções diferenciais, freqüentemente uma a cada 0,6 segundos, dependendo do sistema de comunicação;

- proporciona uma precisão nas correções durante o período do SA;

- utiliza os códigos suavizados pela portadora proporcionando precisão nas correções;

- possui recalibragem automática uma vez por dia;

- correções diferenciais são geradas no formato RTCM SC-104; e

- possui comunicação por duas portas RS-232.

O receptor móvel por sua vez apresenta as seguintes características principais:

- calcula e mostra a posição e a velocidade atualizada duas vezes por segundo;

- proporciona uma precisão na navegação durante o SA;

- registra todas as medidas dos satélites, dados brutos e calcula as posições;

- possui o formato de mensagem RTCM SC-104;e

- possui comunicação em duas portas RS-232.

As configurações para o receptor de referência são as seguintes:

- Receptor TRIMBLE 9 canais com L_1 C/A;

- Gera as correções no formato RTCM SC-104;

- Envia as correções pela porta serial RS-232;

- Registra os dados pela porta serial RS-232;

- Pino para a conexão da antena;

- Cabos para a transferência de dados e de energia;e

- Antena externa com L_1 e com cabo de 30 metros, RG-213..

Para o receptor móvel têm-se as seguintes configurações:

- Receptor TRIMBLE 9 canais com L₁ C/A;
- Processa as correções com o formato RTCM SC-104;
- Recebe as correções na porta serial RS-232;
- Registra os dados pela porta serial RS-232;
- Cabos para transferência dos dados e de energia;
- Antena externa com L₁ e com cabo de 30 metros, RG-213;
- Taxa de comunicação com o sistema de 50 a 38400 bps;
- Tipos de mensagens RTCM SC-104 utilizadas 1,2,3,6,16 e9; e
- Possui a mensagem de navegação NMEA-0183.

Pode-se observar um esquema do painel da frente e de trás dos receptores 4000 DL-II/4000 RL-II nas figuras 30 e 31.

FIGURA 30 Painel da Frente - Receptor 4000 RL/DL

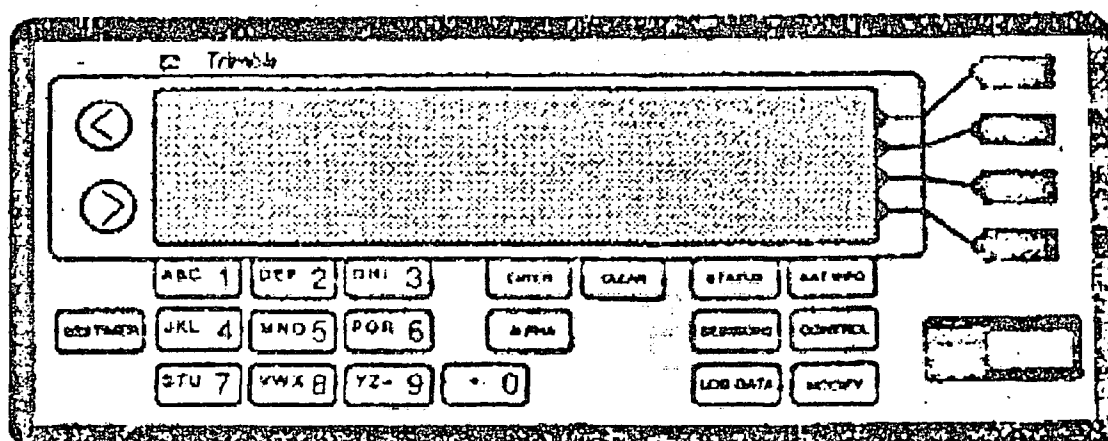
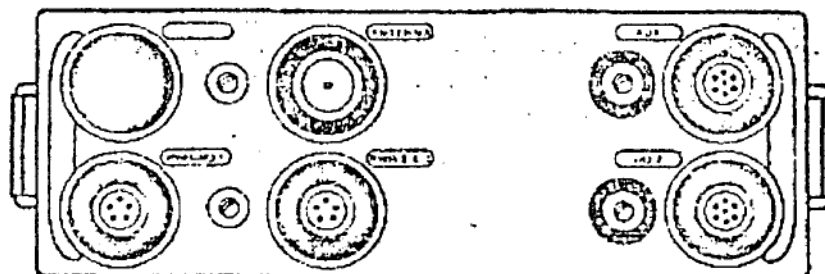


FIGURA 31 Painei de Trás - Receptor 4000 RL/DL



Para se obter maiores detalhes sobre estes rastreadores, ver manual de operação da **TRIMBLE NAVIGATION**.

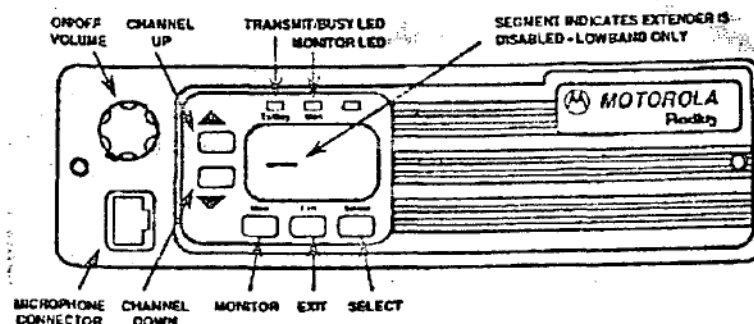
3.2.3) SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

Juntamente com os receptores 4000 RL-II e 4000 DL-II recebeu-se emprestado da empresa **AMBRIEX S/A** os rádios para a comunicação entre os receptores.

3.2.3.1) RÁDIOS MOTOROLA

Foram utilizados os rádios Motorola M208. Pode-se observar um esquema deste na figura 32.

FIGURA 32 Rádio M208- Motorola



Estes rádios permitem receber ou transmitir mensagens selecionando o mesmo canal, o que se pode realizar utilizando um controle, conforme está demonstrado na figura 32. Operam com uma potência de 25W, na faixa de UHF em FM e estão sujeitos às regras e regulamentos do DMC/PR. Antes de utilizá-los é necessário se obter uma licença.

Estes rádios dispõem de conectores para a antena e para a alimentação. Possuem também microfones compactos os quais não foram utilizados, já que o objetivo era enviar e receber as correções às pseudodistâncias.

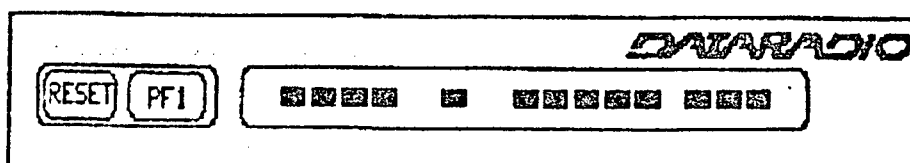
3.2.3.2) MODENS

Dois modems diferentes foram utilizados, um na estação de referência e um na estação móvel.

O modem da estação de referência utilizado foi o BDLC, que permite uma simples conexão ao rádio e que necessita uma fonte de energia que vai de 12VDC ou 110VAC, dependendo do equipamento.

O BDLC possui uma porta serial padrão RS232 para a conexão em um computador ou receptor. Observe-se um esquema deste modem na figura 33.

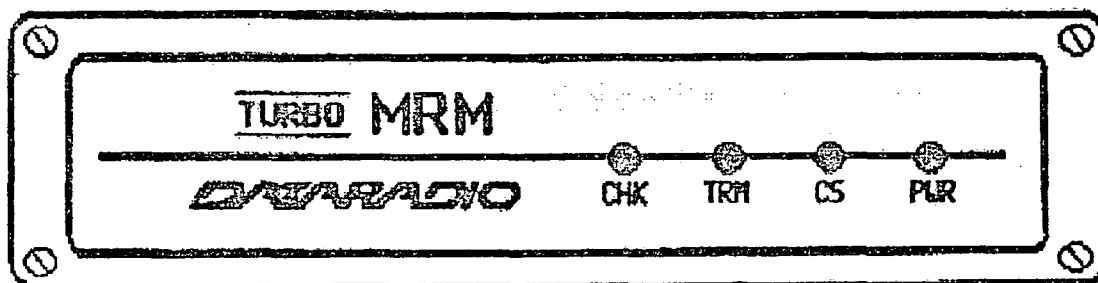
FIGURA 33 Modem BDLC



Este modem possui uma velocidade de 9600 bps. A ele são conectados o rádio Motorola e o receptor GPS, via porta serial RS232. Para maiores detalhes ver manual técnico do BDLC.

O modem utilizado na estação móvel é o MRM. São necessárias simples conexões deste com o rádio Motorola e uma fonte de energia de 12VDC. Possui uma porta serial padrão RS232 para conexão com um computador laptop ou com um terminal móvel; sua velocidade é de 9600 bps. Este é um equipamento portátil, portanto de menores dimensões que o BDLC. Na figura 34 é apresentado um esquema deste modem.

FIGURA 34 Modem MRM



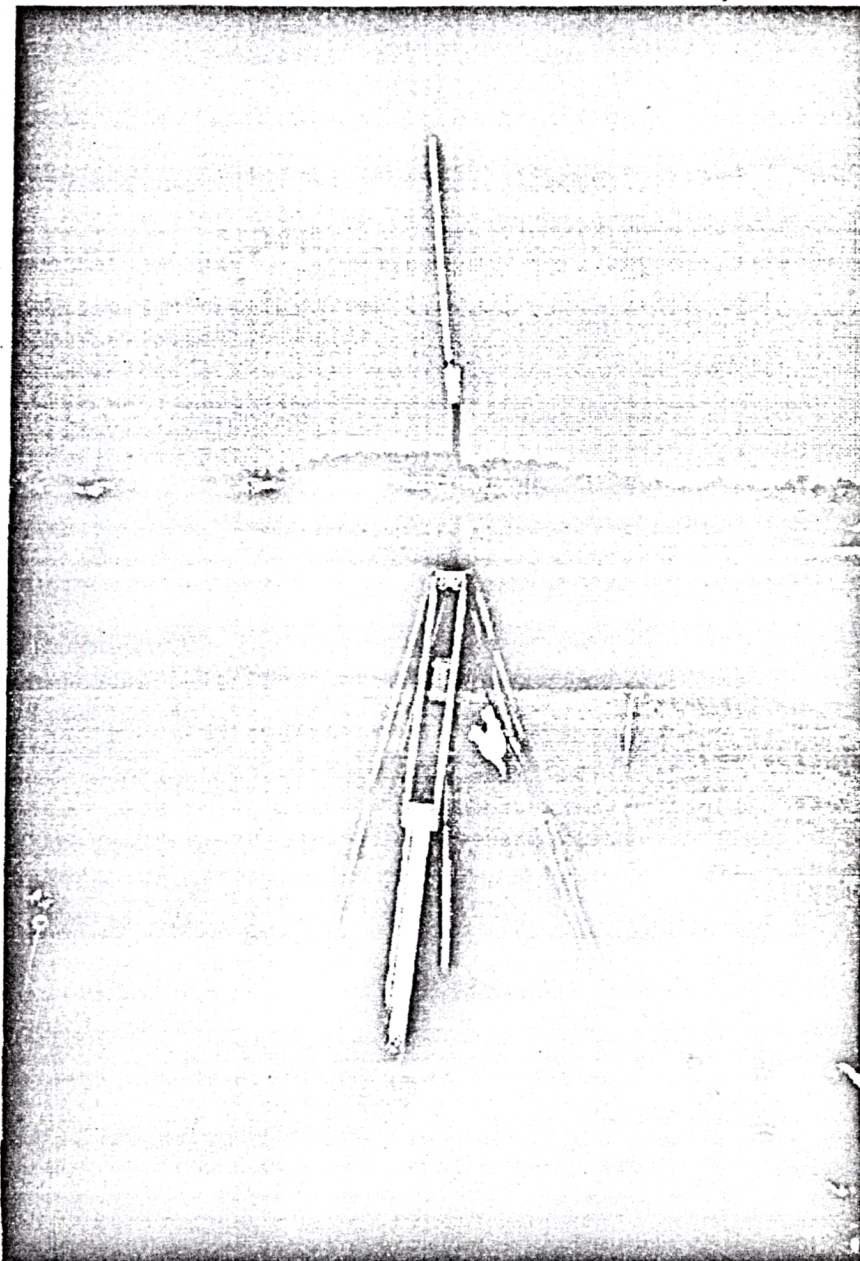
Este equipamento foi conectado ao rádio Motorola na estação móvel. Para maiores informações quanto às características técnicas ver manual técnico.

3.2.3.3) ANTENAS

Conectadas aos rádios Motorola, as antenas omnidirecionais apresentavam um ganho de zero dB, o que

significa que o sinal recebido permanecia como estava. É possível observar este tipo de antena na figura 35.

FIGURA 35 Antena do Sistema de Comunicação



A conexão desta ao rádio foi feita através de um cabo apropriado, com um comprimento de 10 metros e uma perda de 6 dB para 15 metros.

3.2.4) COMPUTADORES

3.2.4.1) LAPTOP TOSHIBA - T5200

Neste posicionamento foi empregado um Laptop Toshiba com MSDOS/UNIX, pertencente a UFPr, com 200 Mb de winchester, 4M de RAM, um coprocessador matemático e drive de 3½".

Este computador, que se adapta a 110 ou 220 VAC, foi utilizado dentro do trem, fornecendo a sua posição em tempo real e o seu percurso em um mapa básico, bem como, no pós-processamento dos dados.

Só não se conseguiu obter a qualidade esperada na parte gráfica pelo fato de que este computador apresenta um visor padrão CGA.

3.2.4.2) HEWLETT PACKARD - HP VECTRA 486/33T

Este computador, também pertence a UFPr, foi utilizado no pós-processamento dos dados. Apresenta as seguintes características:

- 2 Drives A,B (3½ e 5¼");
- MSDOS - UNIX;
- Coprocessador Matemático; e
- 1 Winchester com capacidade de 1Gb e 20M RAM.

Os equipamentos foram conectados convenientemente formando dois conjuntos, um para a estação móvel e outro para a estação de referência. Pode-se observar as conexões efetuadas com os equipamentos, descritos anteriormente, na

estação de referência na figura 36 e o esquema de montagem na figura 37.

FIGURA 36 Sistema DGPS na Estação de Referência

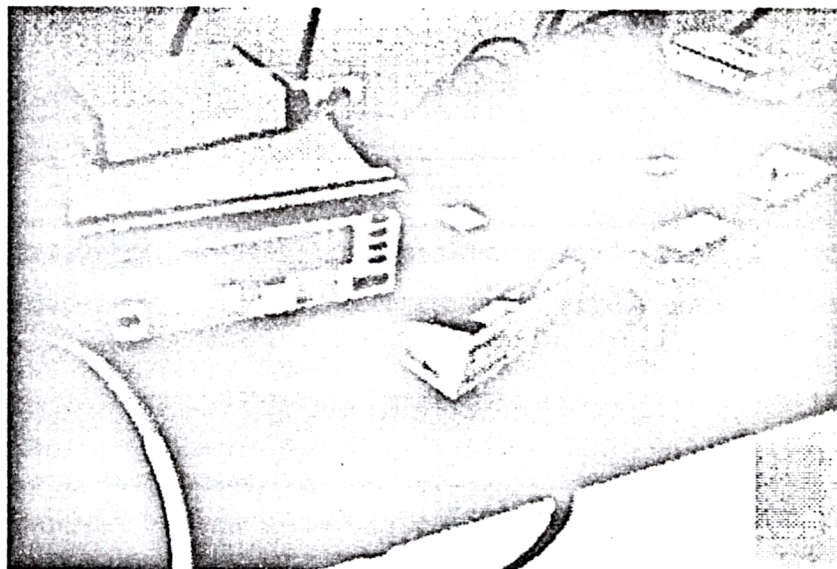
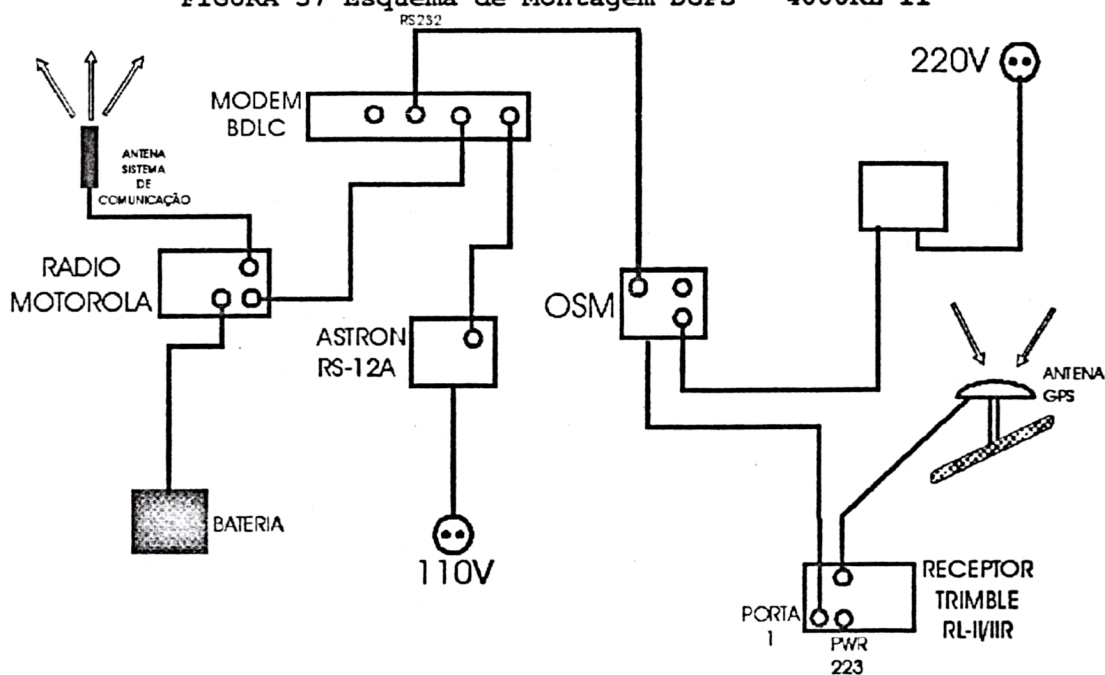


FIGURA 37 Esquema de Montagem DGPS - 4000RL-II



Foi empregado o receptor Trimble 4000 RL-II, com o formato RTCM-104, versão 2.0, e uma taxa de transmissão de 9600 bps.

A conexão dos equipamentos na estação móvel está representada na figura 38, e o esquema de montagem na figura 39.

FIGURA 38 Sistema DGPS na Estação Móvel

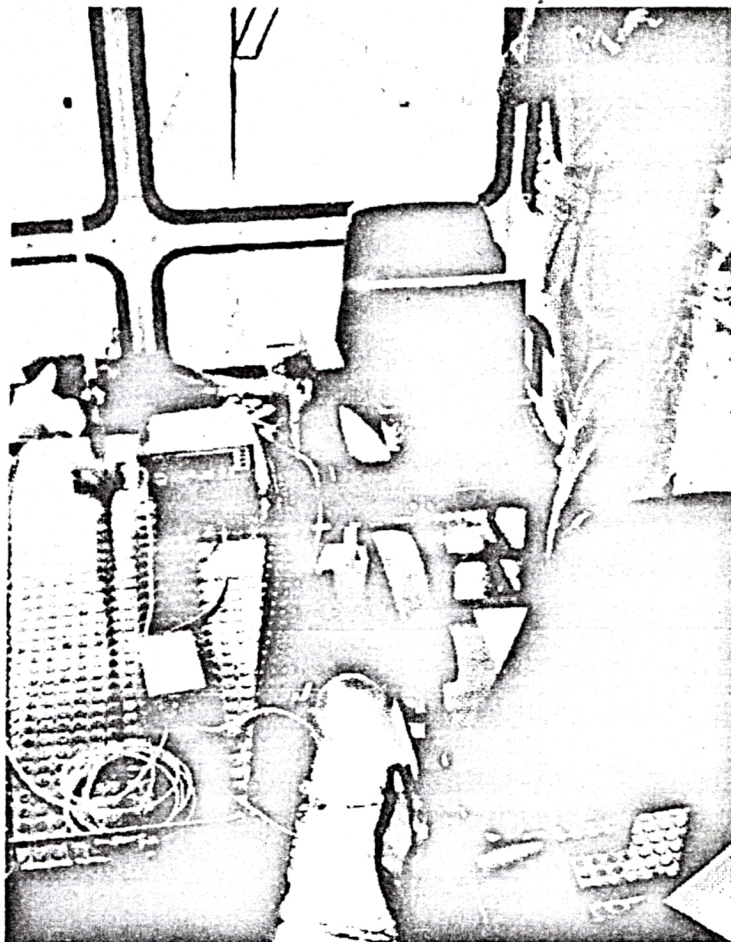
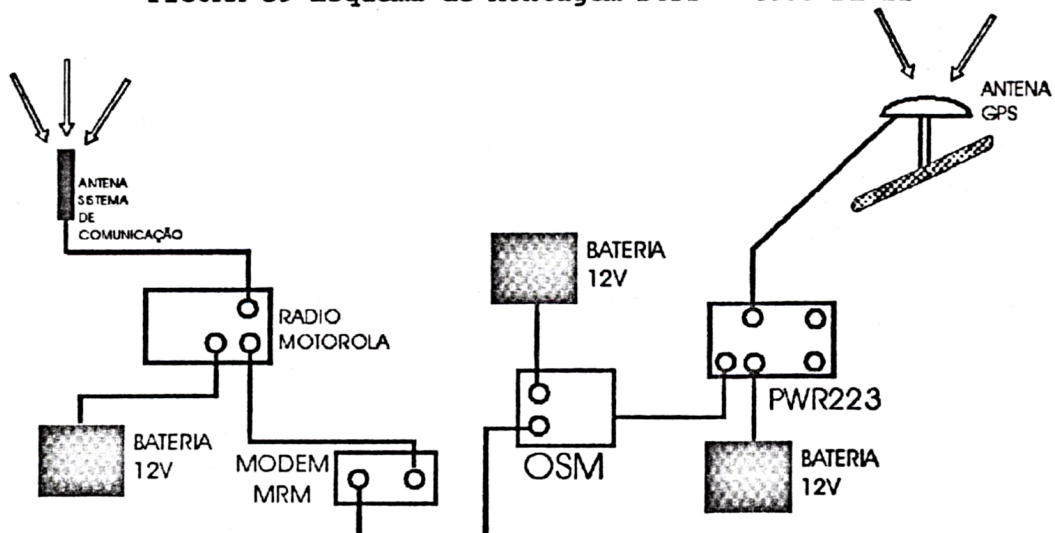


FIGURA 39 Esquema de Montagem DGPS - 4000 DL-II



O receptor Trimble 4000 DL-II, já citado, com o formato RTCM-104, versão 2.0, também foi utilizado aqui, com a mesma taxa de transmissão da estação de referência.

3.3) LEVANTAMENTO DE CAMPO

O levantamento, utilizando os receptores diferenciais RL e DL, compreendia inicialmente o levantamento de uma linha férrea de aproximadamente 5 km. Porém neste percurso não se teve problemas e ,como se dispunha de tempo, foi decidido estender este levantamento para maiores distâncias, a fim de verificar a eficiência do sistema DGPS.

Foram realizados, também, levantamentos estáticos para a obtenção das coordenadas de certos pontos, os quais funcionaram como estações de referência.

Em conjunto com a RFFSA, optou-se por realizar o levantamento dos 5 km partindo do Parque Iguaçu, conforme o anexo 01. Na tabela 09 é apresentada a relação dos levantamentos realizados, datas e equipamentos.

TABELA 09 Levantamentos Realizados

DATA	TIPO DO LEVANTAMENTO	TRECHO	EQUIPAMENTO
01/06/93	ESTÁTICO	PARA-FER1 FER2 - FER1 FER1 - PARA	4000 RL/DL
04/06/93	DIFERENCIAL	FER1 - FER2	4000 RL/DL
14/06/93	CINEMÁTICO	FER1 - FER2	SST
16/06/93	DIFERENCIAL	FER1 - PINHAIS	4000 RL/DL
25/06/93	DIFERENCIAL	FER1 - MORRETES	4000 RL/DL
29/06/93	ESTÁTICO	FER1 - FER3	4000 RL/DL
01/07/93	DIFERENCIAL	FER3 - VÉU DE NOIVA	4000 RL/DL
06/07/93	ESTÁTICO	PARA - ADM1	SST
08/07/93	DIFERENCIAL	IGUAÇU - BANHADO	4000 RL/DL
16/07/93	DIFERENCIAL	PINHAIS - PORTO DE CIMA	4000 RL/DL
	ESTÁTICO	PARA - BAN1	SST
20/07/93	DIFERENCIAL	RODOFERROVIÁRIA - OSÓRIO DE ALMEIDA	4000 RL/DL
22/07/93	DIFERENCIAL	PINHAIS - BANHADO	4000 RL/DL

3.3.1) 1º LEVANTAMENTO ESTÁTICO

Este levantamento foi realizado com a finalidade de se obter dois pontos próximos à linha férrea, os quais poderiam servir como estações de referência. O primeiro (Fer1)

localizava-se a cerca de 1 km da estação de Parque Iguaçu e o segundo (Fer2) ao final da linha férrea a ser levantada inicialmente (cerca de 5km na direção de Pinhais).

Foi escolhido como ponto de referência para este levantamento o ponto PARA, situado no Centro Politécnico, próximo à Astronomia. Esta é uma das estações da rede nacional de GPS (Estação 91105), segundo Campos(1993), cujas coordenadas no WGS-84 são:

$$\phi = 25^{\circ} 26' 54,1362'' \text{ S}$$

$$\lambda = 49^{\circ} 13' 51,4116'' \text{ W}$$

$$h = 925,870 \text{ m .}$$

Para este levantamento foram empregados os receptores diferenciais RL e DL, já que os receptores SST da UFPr estavam participando de outra campanha. Ele se desenvolveu em três seções, sendo:

Seção 1 : PARA com FER1;

Seção 2 : FER1 com FER2; e

Seção 3 : FER2 com PARA.

Nestas seções foram utilizados uma máscara de elevação igual a 10° , um mínimo de 4 satélites e um tempo de sincronismo de 10 segundos para as seções 1 e 2 e de 5 segundos para a seção 3. A duração do rastreamento para a seção 1 foi de 3,5h, para a seção 2 de 2h e para a seção 3 de 1 h.

3.3.2) 1º LEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE FER1 A FER2

Para o desenvolvimento dos levantamentos diferenciais, a RFFSA colocou à disposição um motor, no qual foi instalado o

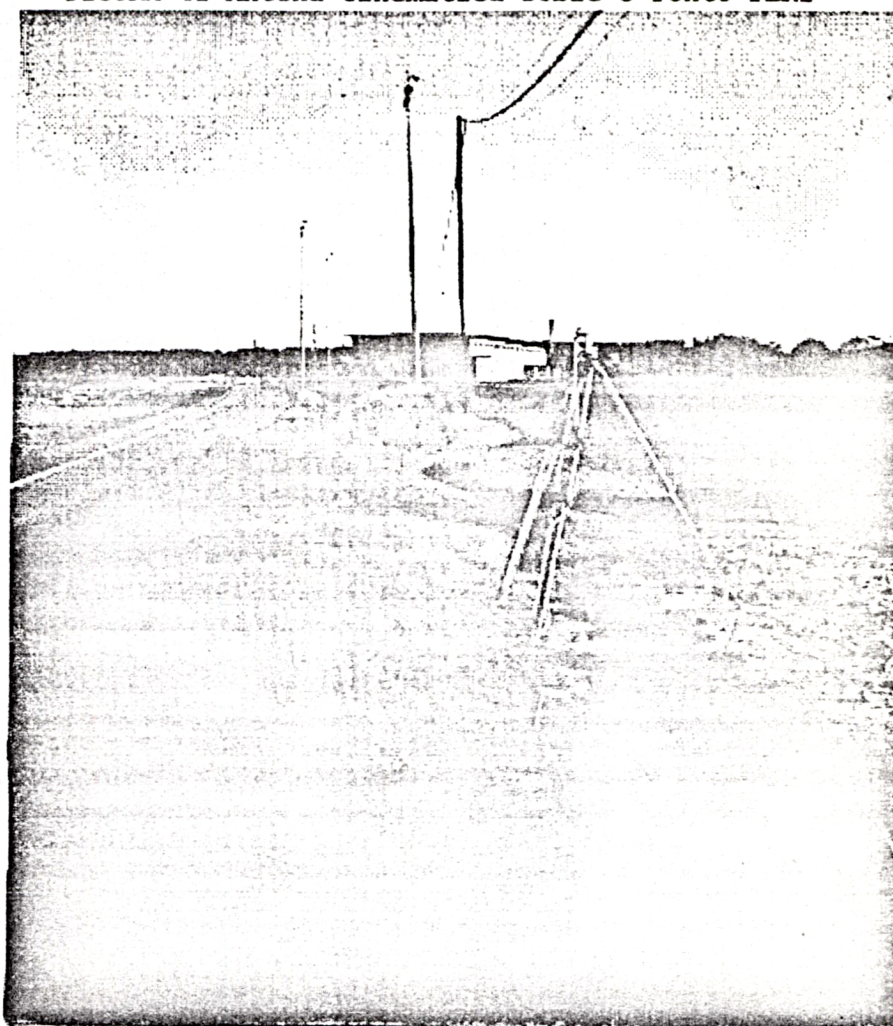
receptor 4000 DL-II/IIR e o sistema de comunicação. Na figura 40 se vê o motor utilizado, bem como as antenas do posicionamento e do sistema de comunicação.

FIGURA 40 Motor com as Antenas



A estação de referência foi instalada no ponto FER1, no Parque Iguaçu. Sobre o ponto FER1 a antena cinemática foi instalada, conforme mostra a figura 41.

FIGURA 41 Antena Cinemática sobre o Ponto FER1



Os demais equipamentos foram instalados no interior de uma pequena construção da RFFSA. Adotou-se uma elevação da máscara de 10° , um intervalo de tempo de recepção do sinal de 5s, uma taxa de coleta de dados de 5s e um "age limit ¹" de 100s.

Esta trajetória foi percorrida por 6 vezes, sendo que cada 2 vezes considerou-se como uma seção. As 3 seções apresentaram curtas durações, ou seja, de 25 minutos, 34 minutos e 29 minutos respectivamente.

¹ Age limit: é o tempo durante o qual a última correção é mantida

Ocorreram poucas perdas das correções, e as perdas totais dos dados, em pequenos trechos, foram causadas pelos viadutos que passam sobre a linha férrea.

3.3.3) 1º LEVANTAMENTO CINEMÁTICO DE FER1 A FER2

Este levantamento foi efetuado utilizando os receptores SST e as antenas geodésicas para dupla frequência (L1 e L2).

Também foram utilizados uma elevação da máscara de 10°, um intervalo de tempo de recepção do sinal e taxa de coleta de dados de 1s.

Enquanto uma antena foi instalada sobre o ponto FER1, em Parque Iguaçu, a outra, juntamente com o receptor SST, foi instalada no motor.

Os 5km foram percorridos por duas vezes, parando o motor quando ocorriam perdas de sinal, o que aconteceu principalmente quando da passagem por baixo dos viadutos.

3.3.4) 2º LEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE FER1 A PINHAIS

Foram empregados os receptores 4000 RL-II/IIR e 4000 DL-II/IID. A estação de referência permaneceu no ponto FER1. Adotou-se uma elevação da máscara de 10°, para o intervalo de tempo de recepção do sinal e a taxa de coleta de dados de 5s e um "age limit" de 100s.

Ocorreram pequenas perdas de sinal e das correções durante o percurso.

3.3.5) 3º LEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE FER1 A MORRETES

Neste levantamento foram empregados os mesmos equipamentos e características citadas no levantamento do item 3.3.4.

As correções às pseudodistâncias apresentaram pequenas perdas somente até próximo à estação de Banhados. Acredita-se que isso ocorreu em função da posição do ponto para a transmissão das correções da estação de referência ao motor.

Uma nova posição para a estação de referência, num ponto mais elevado, foi encontrada para que houvesse um maior alcance das informações da estação fixa para a estação móvel.

As perdas totais dos sinais dos satélites GPS só ocorreram nos trechos já esperados, como túneis e sob os viadutos.

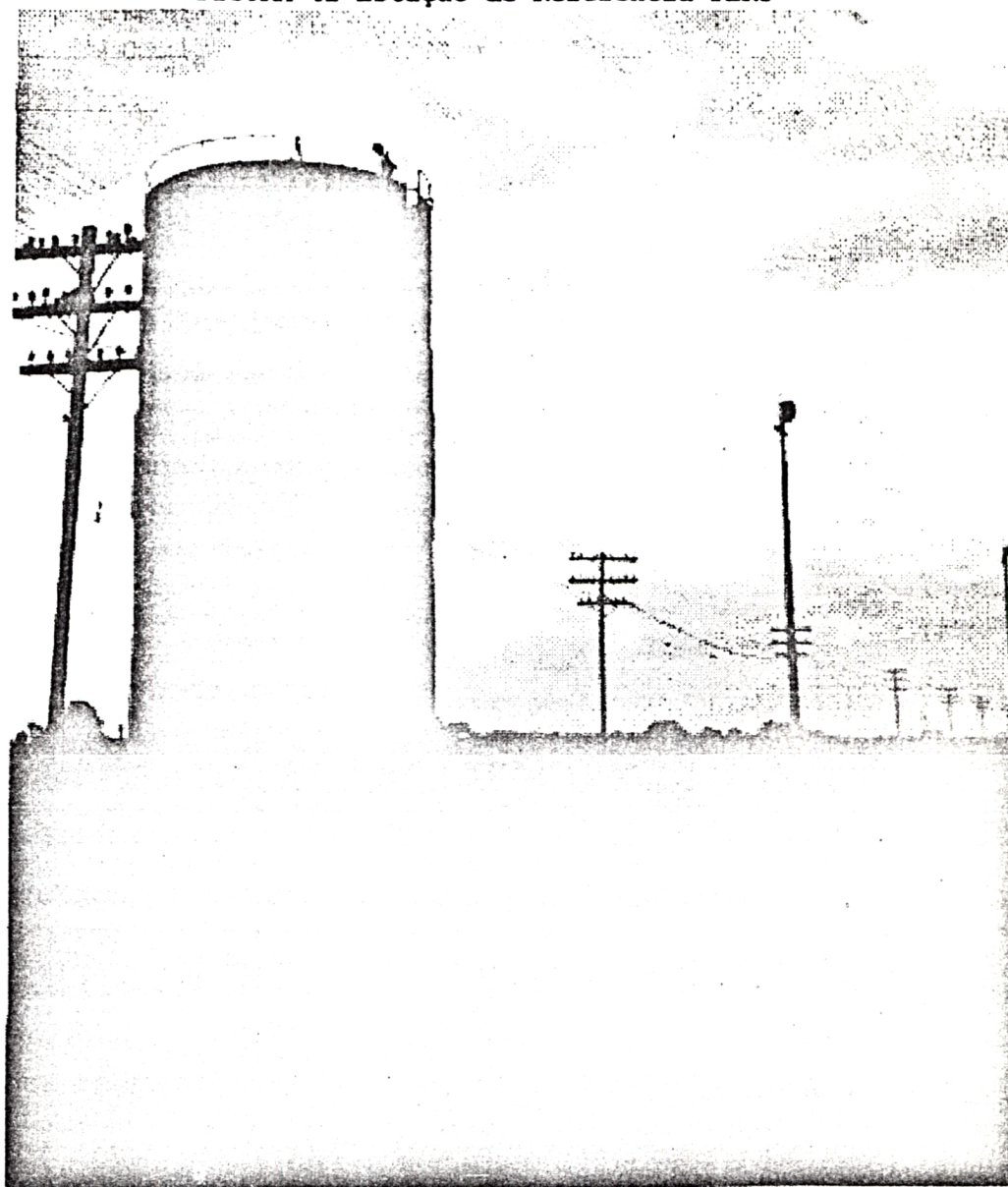
3.3.6) 2º LEVANTAMENTO ESTÁTICO DE FER1 A FER3

Na busca de uma melhor posição para a estação de referência, optou-se por um ponto no alto de uma caixa d'água existente no Parque Iguaçu.

Tão logo as coordenadas para este novo ponto foram obtidas, procedeu-se ao levantamento estático entre os pontos FER1 e o FER3 (caixa d'água).

Foram utilizados os receptores RL e DL, uma máscara de elevação de 10° , mínimo de 4 satélites e um intervalo de tempo de recepção do sinal de 5s. A duração deste rastreamento foi de 2 horas. A localização deste ponto está registrada na figura 42.

FIGURA 42 Estação de Referência FER3



3.3.7) 4º LEVANTAMENTO DIFERENCIAL FER3 A VÉU DE NOIVA

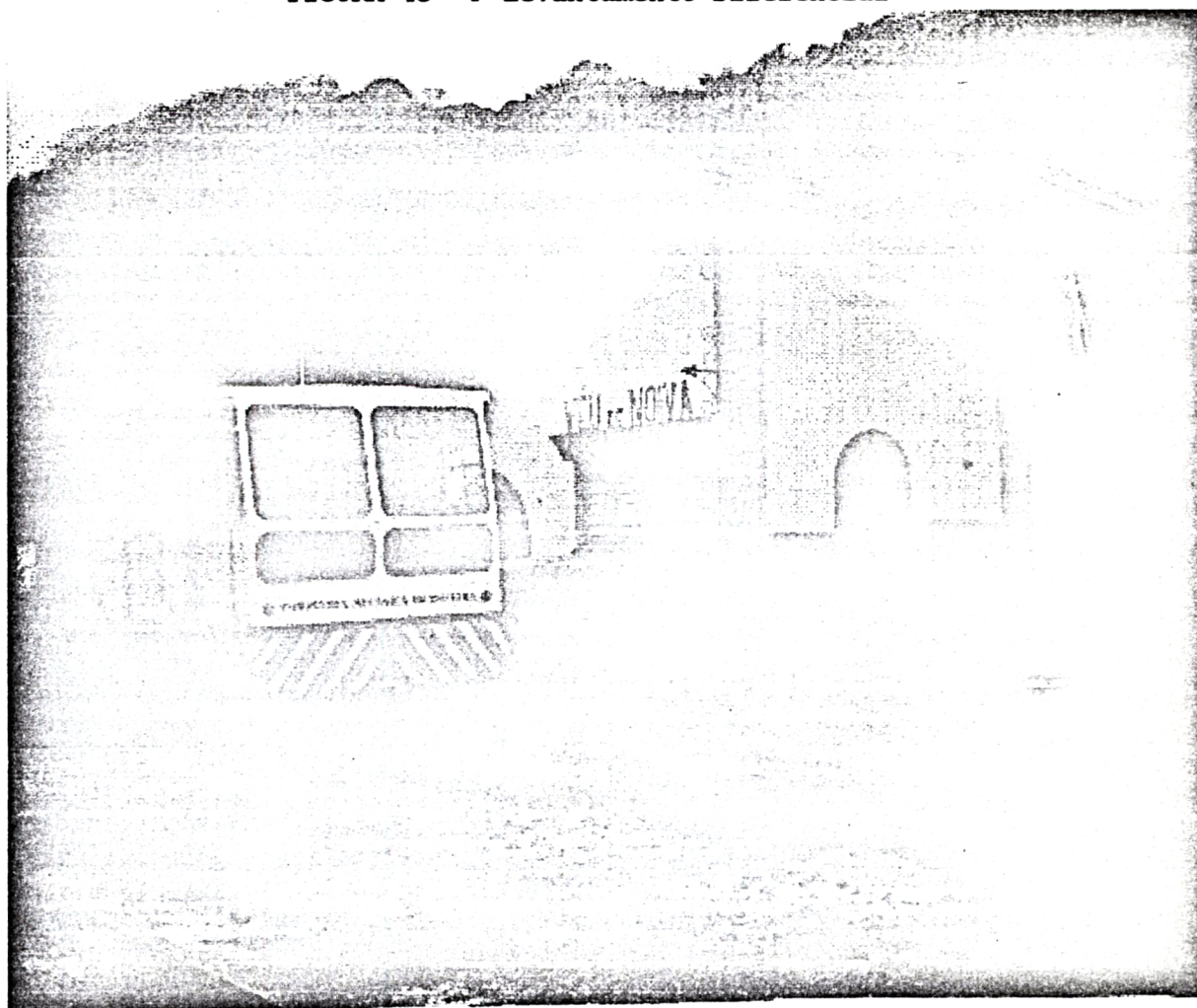
A estação de referência foi instalada na caixa d'água do Parque Iguaçu. A antena foi posicionada sobre o ponto FER3 e os equipamentos foram instalados no interior desta caixa d'água.

Os equipamentos e suas características já foram mencionados no item 3.3.4, exceto que neste levantamento foi utilizado um "age limit de 5s."

Houve melhoras quanto à recepção das correções, porém ainda insuficiente. Optou-se então por encontrar um novo ponto, mais alto que o FER3, que fornecesse uma melhor comunicação entre as estações fixa e móvel.

A estação Vêu de Noiva e o motor são mostrados na figura 43.

FIGURA 43 4º Levantamento Diferencial

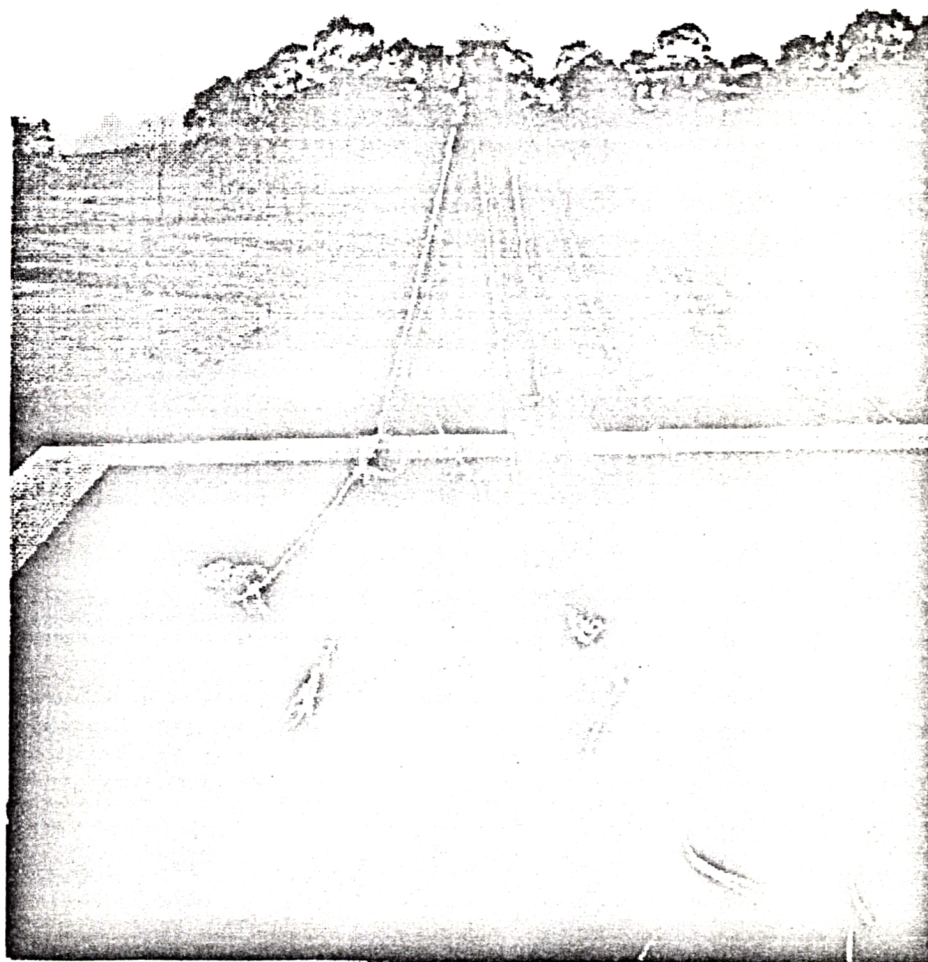


3.3.8) 3º LEVANTAMENTO ESTÁTICO DE UFPr À ADM1

No novo ponto escolhido, sobre o prédio da administração no Centro Politécnico, foram instaladas as antenas cinemáticas e de comunicação.

A figura 44 mostra a antena cinemática sobre o prédio da administração, e ao fundo a Serra do Mar.

FIGURA 44 Estação de Referência - ADM1



A fim de desenvolver os próximos levantamentos diferenciais foi necessário obter as coordenadas do ponto ADM1.

Durante uma hora foi rastreado o espaço entre, os pontos PARA e o ADM1, utilizando os receptores SST, uma máscara de elevação de 10° , um mínimo de 4 satélites e um intervalo de tempo de recepção do sinal de 5s.

3.3.9) 5º LEVANTAMENTO DIFERENCIAL ESTAÇÃO IGUAÇU A BANHADO

Conforme já foi dito na seção anterior, a estação de referência foi instalada no 4º andar do prédio da administração no Centro Politécnico e a antena conforme mostra na figura 44. Os equipamentos e as características utilizadas neste levantamento são os mesmos citados em 3.3.4.

Notou-se uma melhora no sistema de comunicação para a transmissão das correções.

3.3.10) 6º LEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE PINHAIS A PORTO DE CIMA

Foram utilizados a estação de referência citada em 3.3.8 e os equipamentos e as características citadas em 3.3.4, exceto o "age limit", que foi de 20s.

Houve uma melhora na recepção das correções com a nova escolha para o ponto da estação de referência. É importante comentar que este está voltado em direção à serra do mar, portanto não encontra grandes obstáculos.

3.3.11) 4º LEVANTAMENTO ESTÁTICO DO PARA A BAN1

Alguns testes ocorreram durante este levantamento, bem como a obtenção da coordenada de um ponto na estação de Banhados. Para tal efetuou-se um rastreamento estático entre o ponto PARA (UFPr) e o ponto BAN1 durante 2h, utilizando-se os receptores SST, as antenas geodésicas e as mesmas características descritas no final da seção 3.3.8.

3.3.12) 7º LEVANTAMENTO DIFERENCIAL DA RODOFERROVIÁRIA A OSÓRIO DE ALMEIDA

Para testar o sistema em outro trecho da linha férrea, na direção de Araucária, utilizou-se o ponto ADM1 como estação de referência e os equipamentos e características descritas no item 3.3.4 exceto pelo "age limit" , que foi de 10s.

Não se obteve bons resultados quanto à transmissão das correções, pois o ponto ADM1 não é um ponto bem localizado para transmitir as correções nesta direção, na qual há muitos obstáculos, p.ex.edifícios em Curitiba.

O ideal seria realizar este levantamento com um ponto situado em outra região, sem muitas obstruções para a transmissão das correções.

3.3.13) 8º LEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE PINHAIS A BANHADO

Novo rastreio foi realizado neste trecho, a fim de realizar-se novos testes.

Este levantamento contou com um "age limit" de 10s na ida do trecho e de 100s na volta.

3.4) PROGRAMAS UTILIZADOS

Nestes levantamentos foram empregados programas desenvolvidos por empresas especializadas, bem como fez-se necessário desenvolver outros .

Utilizou-se os programas GEONAV e GEONAP, desenvolvidos pela **UNIVERSIDADE DE HANNOVER**, Institut für Erdmessung, e o TRIMVEC, desenvolvido pela **TRIMBLE NAVIGATION LTD.**

Os programas desenvolvidos foram TRIMTR e TROCFORM, utilizando a linguagem C.

A seguir é comentada a concepção destes programas.

3.4.1) GEONAV

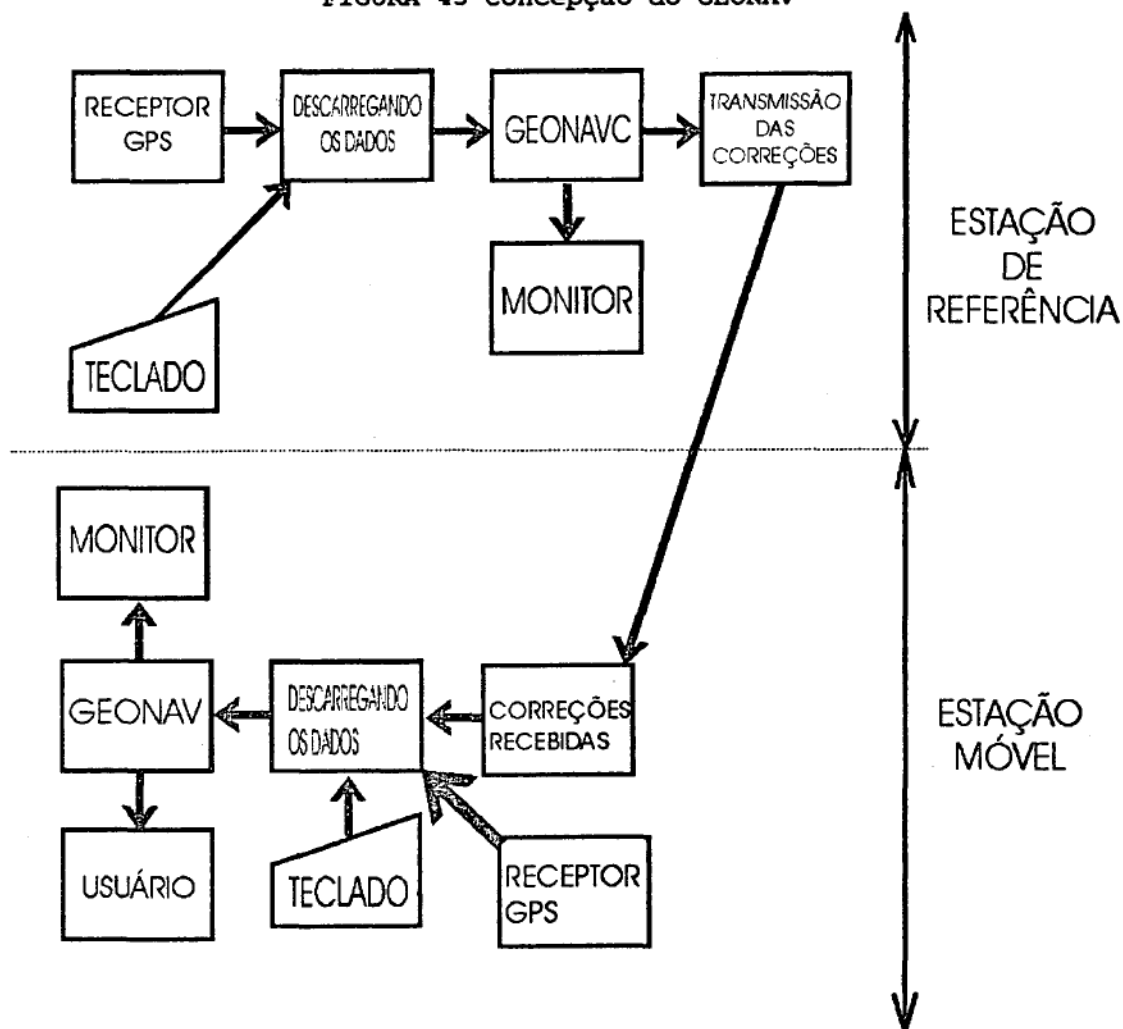
Este programa, utilizado em aplicações cinemáticas, inicialmente foi desenvolvido para utilização dos dados obtidos pelo Texas TI4100, e posteriormente foi aprimorado para a utilização em levantamentos independente do receptor utilizado, passando a apresentar, então, formato RINEX.

A concepção básica pode ser vista na figura 45. Tem-se o conjunto para a estação de referência e para a estação móvel.

Conforme foi dito na seção 3.1, a estação de referência calcula as correções às pseudodistâncias, utilizando o módulo GEONAVC, e as transmite à estação móvel através de um sistema de comunicação, ou elas podem ser observadas numa tela.

A estação móvel recebe as correções às pseudodistâncias, da estação de referência, e os dados rastreados, e os processa no GEONAV. Este fornecerá, então, a melhor posição para o usuário.

FIGURA 45 Concepção do GEONAV



O GEONAV é um pacote de programas desenvolvido para trabalhar em SISTEMA UNIX ou DOS. Ele, segundo Wübbena, apresenta as seguintes características principais:

- aceita qualquer tipo de dados, independente do receptor;

- aceita medidas com o código P;

- aceita medidas com o código C/A;
- aceita fase da portadora;
- aceita frequência Doppler;
- utiliza modelos padrões para correções atmosféricas;
- pseudodistâncias alisadas pela portadora; e
- utiliza filtro que permite predizer a posição, se houver menos que 4 satélites.

3.4.2) GEONAP

É um pacote de programas que têm sido desenvolvido pelo IFE desde 1983. Atualmente está sendo comercializado e aperfeiçoado pela empresa **GEOSPACE**, nas versões para sistemas operacionais DOS ou UNIX. Apresenta-se em três módulos:

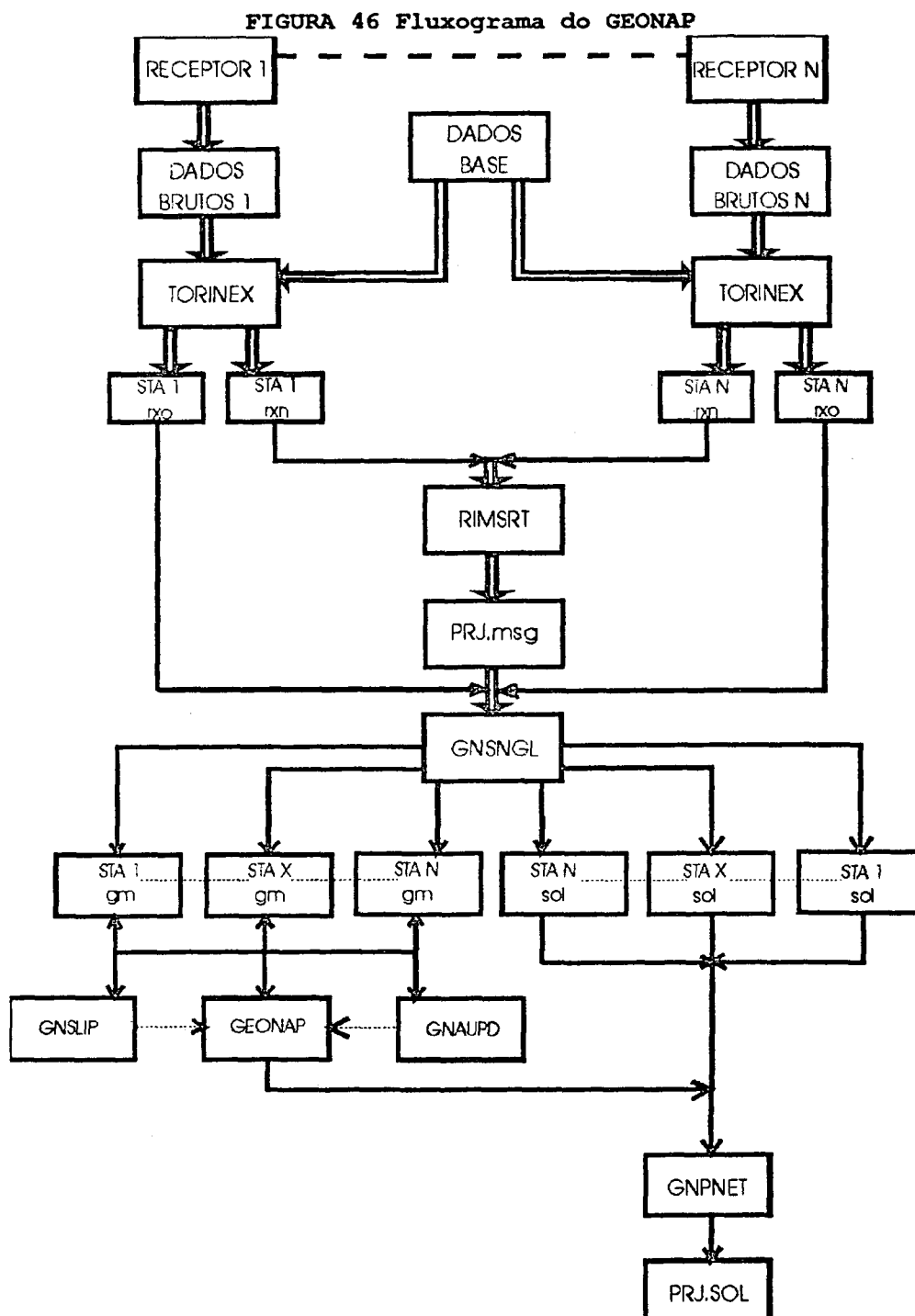
- GEONAP S;
- GEONAP K; e
- GEONAP KS.

O GEONAP S é utilizado no processamento dos dados obtidos no levantamento estático e fornece a melhor posição dos pontos. O GEONAP K é utilizado para levantamentos cinemáticos e fornece a melhor trajetória descrita pelo móvel, enquanto o GEONAP KS é utilizado em levantamentos cinemáticos e oferece a melhor posição dos pontos na trajetória.

O conceito básico deste programa é o ajustamento simultâneo das observáveis GPS nos módulos de estação múltipla, sessão múltipla, e frequência múltipla.

A solução das ambigüidades é realizada principalmente pela combinação dos códigos e portadoras e pelas condições geométricas.

A figura 46 reproduz um fluxograma do GEONAP.



3.4.3) TRIMVEC

É um dos programas da **TRIMBLE NAVIGATION LTDA.**, muito utilizado pelos usuários do sistema GPS. Ele foi utilizado no processamento dos levantamentos estáticos.

3.4.4) TRIMTR

Um dos programas desenvolvidos durante a realização dos levantamentos, na linguagem C, ele permite ler as posições geradas no receptor móvel, mostrar o movimento descrito pelo trem na tela de um computador e salvar estas coordenadas num arquivo. É um modelo simples de um sistema de informações.

O TRIMTR necessita um arquivo `mapas.txt`, com o nome dos mapas desejados, bem como, para cada um dois outros arquivos contendo as coordenadas (ϕ, λ, h) e as coordenadas máximas e mínimas. Pode-se observar no anexo 03.

3.4.5) TROCFORM

Desenvolvido com a finalidade de permitir a transformação entre os diferentes formatos de saída, ou seja, Trimble Cycle-Printouts, TRIMTR, GEONAV e GEONAP, ele permite obter arquivos separados para os dados que possuem ou não as correções diferenciais geradas na estação de referência. Ver anexo 04.

CAPÍTULO 4

PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A tabela 09, no capítulo anterior, mostra os levantamentos de campo realizados. No processamento destes dados coletados foram utilizados os programas TRIMVEC, TRIMTR, GEONAV e GEONAP, conforme citou-se em 3.4.

A seguir fazer-se-á referência a alguns destes levantamentos julgados de maior importância.

4.1) LEVANTAMENTOS ESTÁTICOS

4.1.1) 1º LEVANTAMENTO ESTÁTICO

Este levantamento, foi referenciado na seção 3.3.1. Os dados obtidos foram processados com os programas TRIMMBP e GEONAP-S. Os resultados obtidos estão demonstrados na tabela 10.

TABELA 10 Resultados Obtidos - 1º Levantamento Estático

SEÇÕES	PONTO	COORDENADAS	GEONAP-S	TRIMVEC
SEÇÃO 1	PARA	Φ	-25°26'54,1362"	-25°26'54,1362"
		λ	-49°13'51,4116"	-49°13'51,4116"
		h	925,8679m	925,8679m
	FER1	Φ	-25°31'50,92033"	-25°31'50,92024"
		λ	-49°13'48,8539"	-49°13'48,85418"
		h	885,7246m	885,7236m
SEÇÃO 2	FER1	Φ	-25°31'50,92033"	-25°31'50,02033"
		λ	-49°13'48,8539"	-49°13'48,8539"
		h	885,7246m	885,7246m
	FER2	Φ	-25°29'37,90637"	-25°29'37,90569"
		λ	-49°12'11,88368"	-49°12'11,88332"
		h	880,4664m	880,4986m
SEÇÃO 3	PARA	Φ	-25°26'54,1362"	-25°26'54,1362"
		λ	-49°13'51,4116"	-49°13'51,4116"
		h	925,8679m	925,8679m
	FER2	Φ	-25°29'37,90652"	-25°29'37,90650"
		λ	-49°12'11,88318"	-49°12'11,88274"
		h	880,5048m	880,4715m

No processamento com o GEONAP-S, obteve-se para o ponto FER2 as seguintes diferenças, entre as seções 2 e 3, em latitude (Φ), longitude (λ) e altitude (h):

$$d\Phi = 0,00015'' \cong 0,005 \text{ m};$$

$$d\lambda = 0,00050'' \cong 0,015 \text{ m}; \text{ e}$$

$$dh = 0,0384 \text{ m}.$$

Para o processamento com o TRIMVEC, obteve-se:

$$d\phi = 0,00081'' \cong 0,025 \text{ m};$$

$$d\lambda = 0,00058'' \cong 0,018 \text{ m}; \text{ e}$$

$$dh = 0,0271 \text{ m}.$$

As diferenças obtidas entre os dois programas para os pontos podem ser observadas na tabela 11.

TABELA 11 Diferenças Entre os Programas Utilizados

	SEÇÃO 1 FER1	SEÇÃO 2 FER2	SEÇÃO 3 FER1
$d\phi$	$0,00009'' \cong 3\text{mm}$	$0,00068'' \cong 21\text{mm}$	$0,00002'' \cong 0,6\text{mm}$
$d\lambda$	$0,00028'' \cong 9\text{mm}$	$0,00035'' \cong 11,1\text{mm}$	$0,00044'' \cong 13,6\text{mm}$
dh	0,001m	0,0322m	0,0333m

Optou-se pelas coordenadas dos pontos FER1 e FER2, obtidas pelo processamento com o programa GEONAP-S, o qual, forneceu uma menor diferença entre os resultados obtidos para o ponto FER2. Na tabela 11 pode-se observar que as diferenças obtidas para os pontos com a utilização dos dois programas foi da ordem do milímetro. Os resultados finais podem ser observados na tabela 12.

TABELA 12 Coordenadas de FER1 e FER2 com o GEONAP-S

COORDENADAS	FER1	FER2
LATITUDE	25°31'50,92033"S	25°29'37,90652"S
LONGITUDE	49°13'48,8539"W	49°12'11,88318"W
ALTITUDE	885,7246 m	880,5048 m

4.1.2) 2º LEVANTAMENTO ESTÁTICO

Os dados obtidos com este levantamento foram processados com o programa TRIMVEC, a fim de obter as coordenadas da nova estação de referência FER3. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 13.

TABELA 13 Coordenadas FER3 com o TRIMVEC

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
FER1	25°31'50,92033"S	49°13'48,8531"W	885,7246m
FER3	25°31'57,00114"S	49°13'55,56794"W	898,6349m

$$d\phi = -6,08085972'' \cong 187,493175m;$$

$$d\lambda = -6,71404032'' \cong 207,016243m; e$$

$$dh = 12,9103m.$$

4.1.3) 3º LEVANTAMENTO ESTÁTICO

Também utilizou-se neste levantamento o programa TRIMVEC para o pós-processamento dos dados. Os resultados obtidos estão expostos na tabela 14.

TABELA 14 Coordenadas ADM1 com o TRIMVEC

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
PARA	25°26'54,13620S	49°13'51,41160S	925,8679m
ADM1	25°27'02,20888S	49°13'55,59864W	939,5083m

$$d\phi = -8,10259992'' \cong 249,830164m;$$

$$d\lambda = -4,18704'' \cong 129,1004m; e$$

$$dh = 13,6404m.$$

4.1.4) 4º LEVANTAMENTO ESTÁTICO

Este levantamento foi efetuado conforme descrito no item 3.3.11. Processado com o TRIMVEC, obteve-se como coordenadas para o ponto BAN1, localizado na estação de Banhados, o seguinte:

$$\phi = 25^{\circ} 26'18,71243'' \text{ S};$$

$$\lambda = 48^{\circ} 58'43,48218'' \text{ W}; \text{ e}$$

$$h = 861,9501 \text{ m.}$$

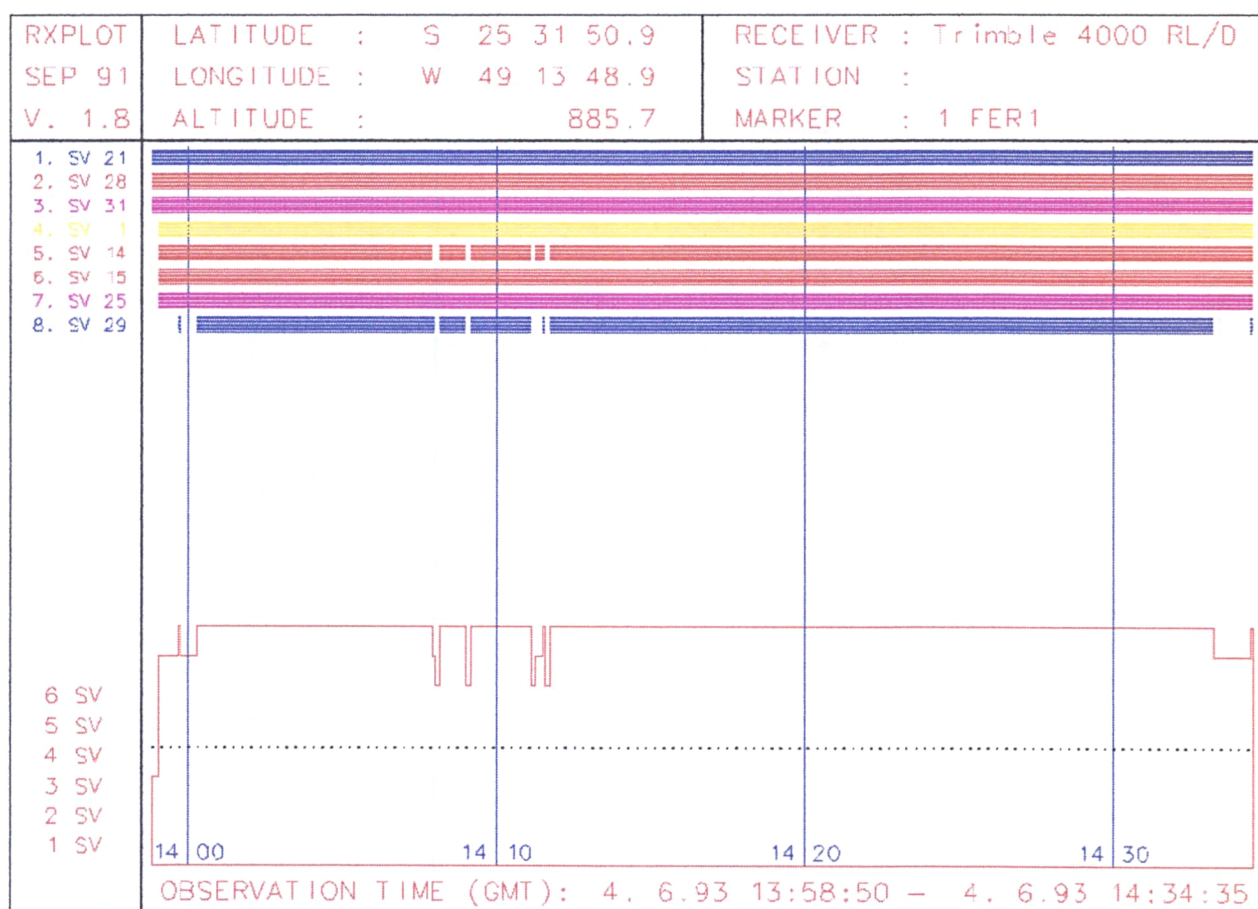
A distância que se obteve entre as estações, PARA e BAN1, foi igual a 25.394,7681 metros.

4.2) LEVANTAMENTOS DIFERENCIAIS

4.2.1) LEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE FER1 A FER2

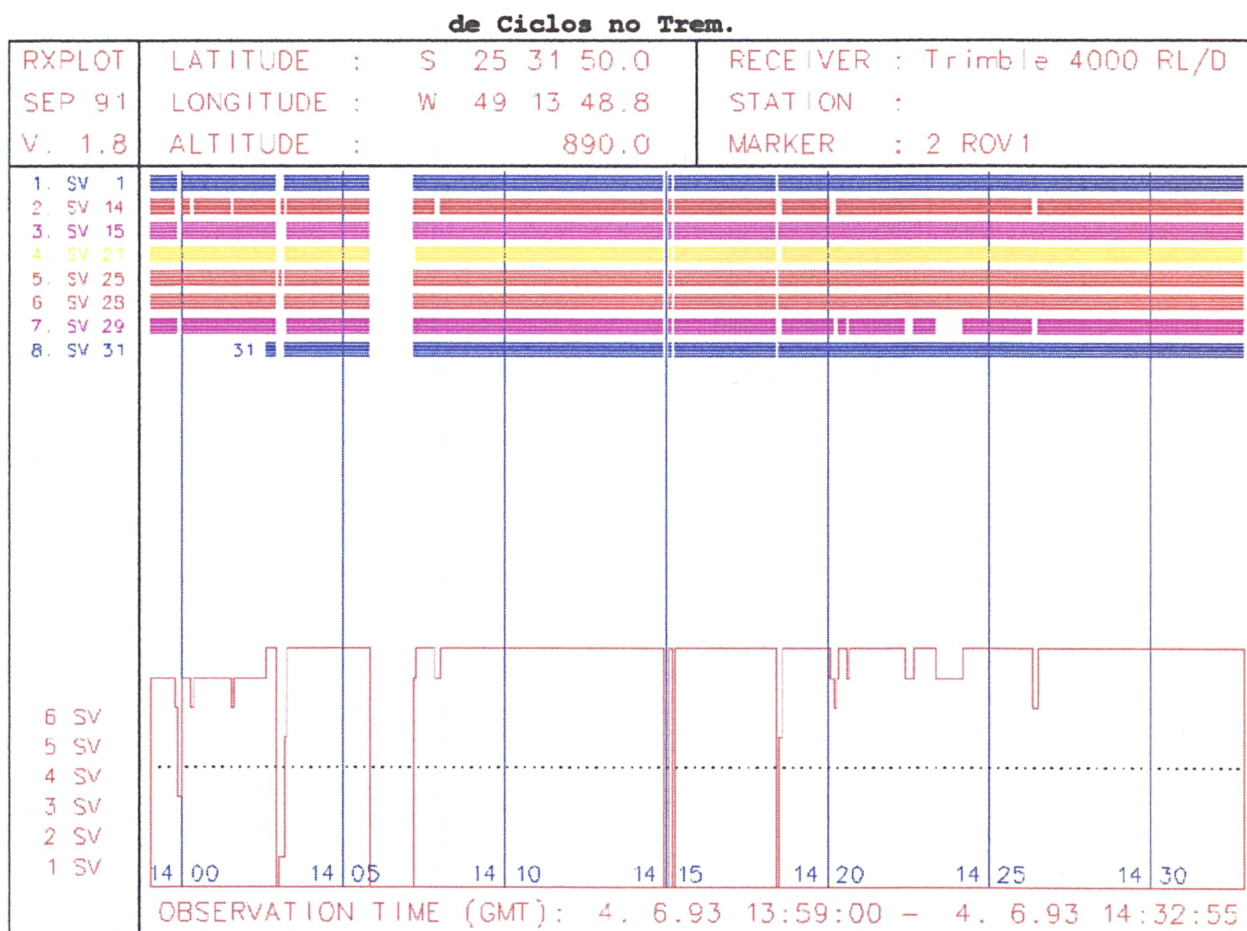
Com os dados coletados no campo, e utilizando-se o programa RXPLOT do IFE, pode-se obter informações sobre o número de perdas de ciclos ocorridas na estação de referência e na móvel. Observa-se para a seção 1 na estação de referência que não houve perda total de ciclos; se teve um total de 8 satélites durante o rastreamento, porém 6 satélites não apresentaram qualquer falha neste período, conforme gráfico 07.

GRÁFICO 07 Visibilidade dos Satélites e Informações sobre as
Perdas de Ciclos em FER1.



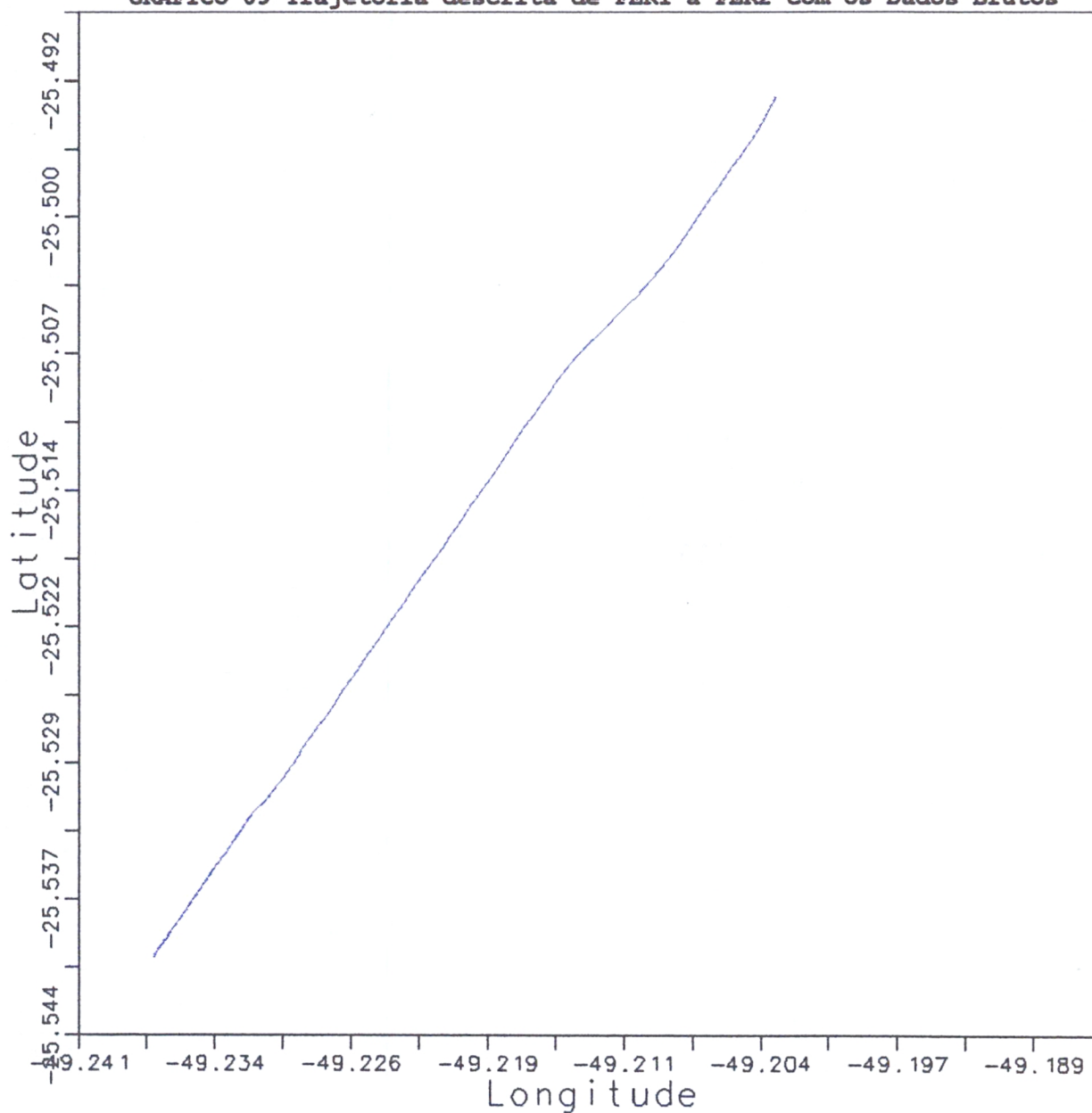
Para a mesma seção na estação móvel, obteve-se o gráfico 08, no qual se pode observar que houve pequenas perdas de ciclos causadas pela passagem do trem sob os viadutos.

GRÁFICO 08 Visibilidade dos Satélites e Informações sobre as Perdas



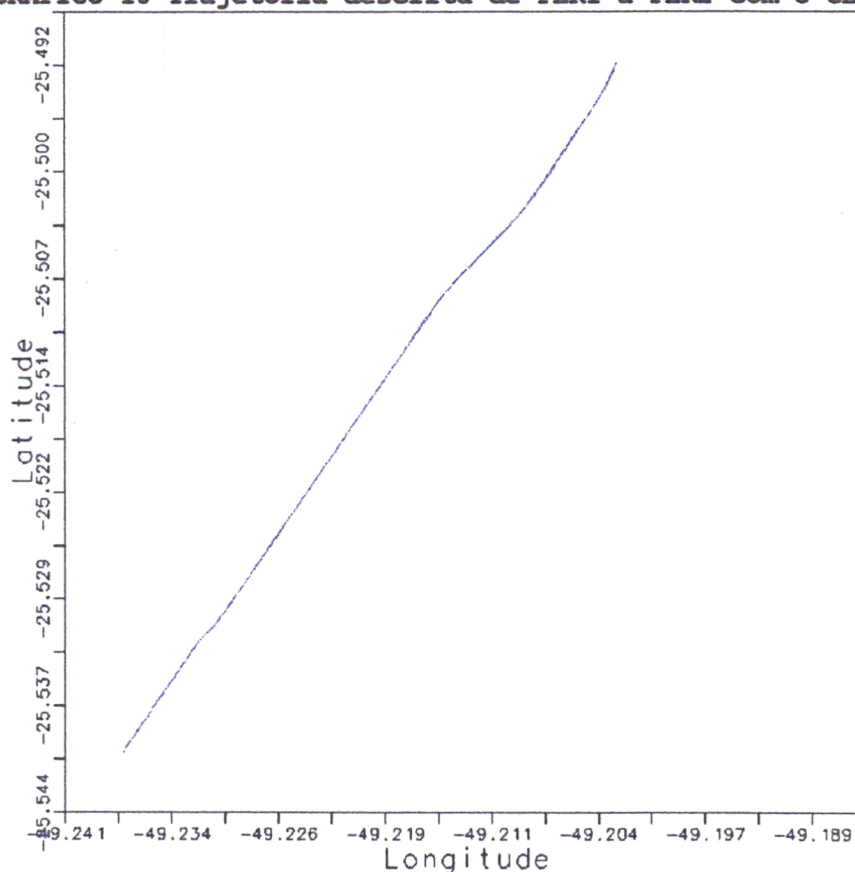
As coordenadas corrigidas foram armazenadas no receptor móvel, diretamente no computador Toshiba, bem como, na memória do receptor. Com os dados armazenados no computador, gráficos foram elaborados e se obteve a trajetória descrita pelo trem. Obteve-se para a seção 2 o gráfico 09, sendo os demais semelhantes a este.

GRÁFICO 09 Trajetória descrita de FER1 a FER2 com os Dados Brutos



Latitude e longitude em graus

Efetuada um pós-processamento dos dados com o GEONAV, conforme citado em 3.4.1, foi possível obter novos gráficos para estas seções. O gráfico 10 foi obtido com este pós-processamento. Os demais são semelhantes a este.

GRÁFICO 10 Trajetória descrita de FER1 a FER2 com o GEONAV

Latitude e longitude em graus

Ao superpor-se estes gráficos, observa-se que as trajetórias coincidem, havendo apenas uma pequena variação na posição do ponto de partida ou chegada da trajetória descrita.

4.2.2) LEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE FER1 A PINHAIS

Os gráficos 11 e 12 fornecem informações sobre as perdas de ciclos e quanto à visibilidade dos satélites para as estações de referência e a móvel, respectivamente. Na estação de referência (FER1) não houve perda total do sinal, permanecendo pelo menos 4 satélites por todo o tempo. Na outra estação ocorreram pequenas perdas de sinal, devido à passagem

do trem sob os viadutos, e tem-se 4 satélites por todo o levantamento.

GRÁFICO 11 Visibilidade dos Satélites e Informações sobre as Perdas

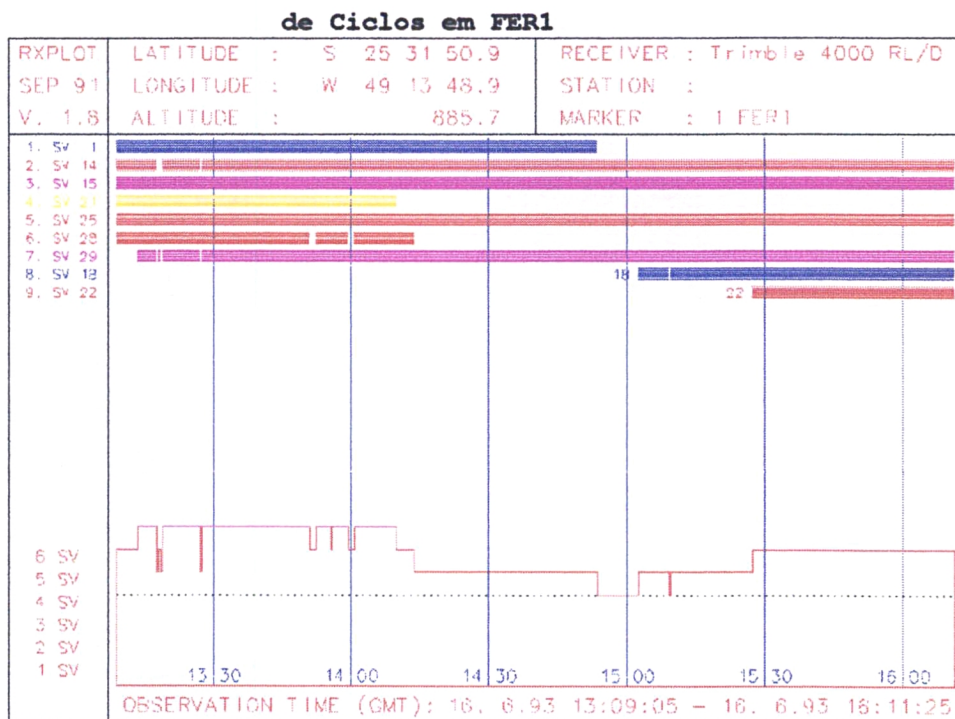
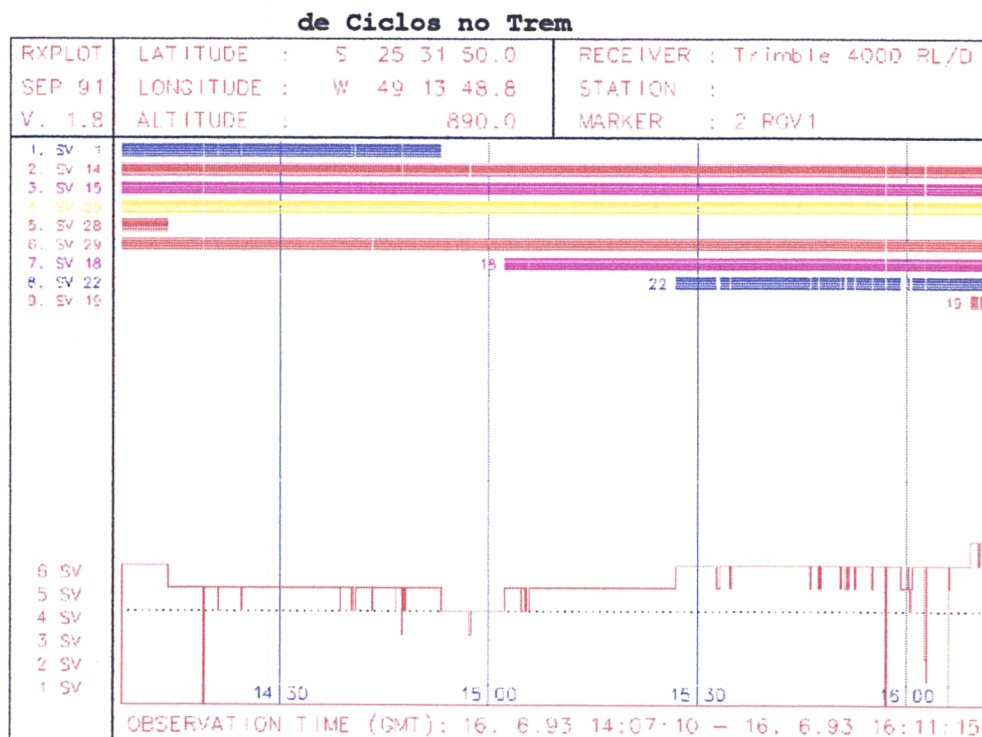
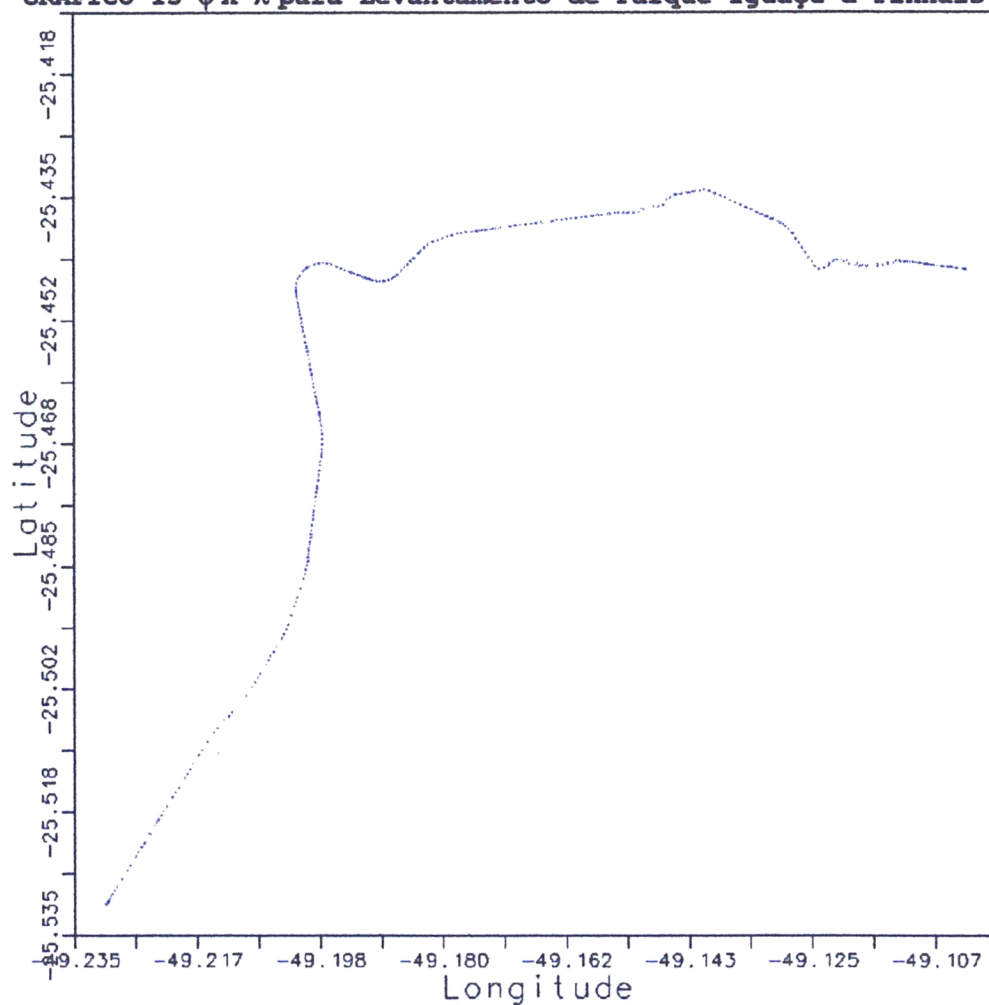


GRÁFICO 12 Visibilidade dos Satélites e Informações sobre as Perdas



Os dados obtidos neste levantamento foram processados com o GEONAV e o GEONAP (GNSNGL). Ao comparar-se os gráficos de $\phi \times \lambda$, obtidos com as coordenadas geradas pelo receptor móvel, com o GEONAV e com o GNSNGL, observa-se que estes são semelhantes. Estes gráficos representam a trajetória descrita pelo trem de Parque Iguaçu à estação de Pinhais, conforme o gráfico 13.

GRÁFICO 13 $\phi \times \lambda$ para Levantamento de Parque Iguaçu a Pinhais



Latitude e longitude em graus

Foram elaborados também os gráficos de $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$ e Δh em função do tempo para os diferentes casos. Nos gráficos $\Delta\phi$ e $\Delta\lambda$,

em função do tempo, houve semelhanças quando superpostos (ver gráficos 14, 15 e 16).

Porém, para o $\Delta h \times t$ há grandes diferenças. O gráfico 14 demonstra que há picos de máximos e mínimos em decorrência de perdas das correções e dos testes realizados com o sistema de comunicações. Já no gráfico 15 estes picos são minimizados, visto que utilizou-se o GEONAV, que possui filtro. No gráfico 16 os resultados são ainda melhores, pois utilizou-se o GEONAP, um programa que fornece maior precisão que o GEONAV, conforme viu-se em 3.4.2.

GRÁFICO 14 $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$, Δh em Função do Tempo para os Dados Brutos

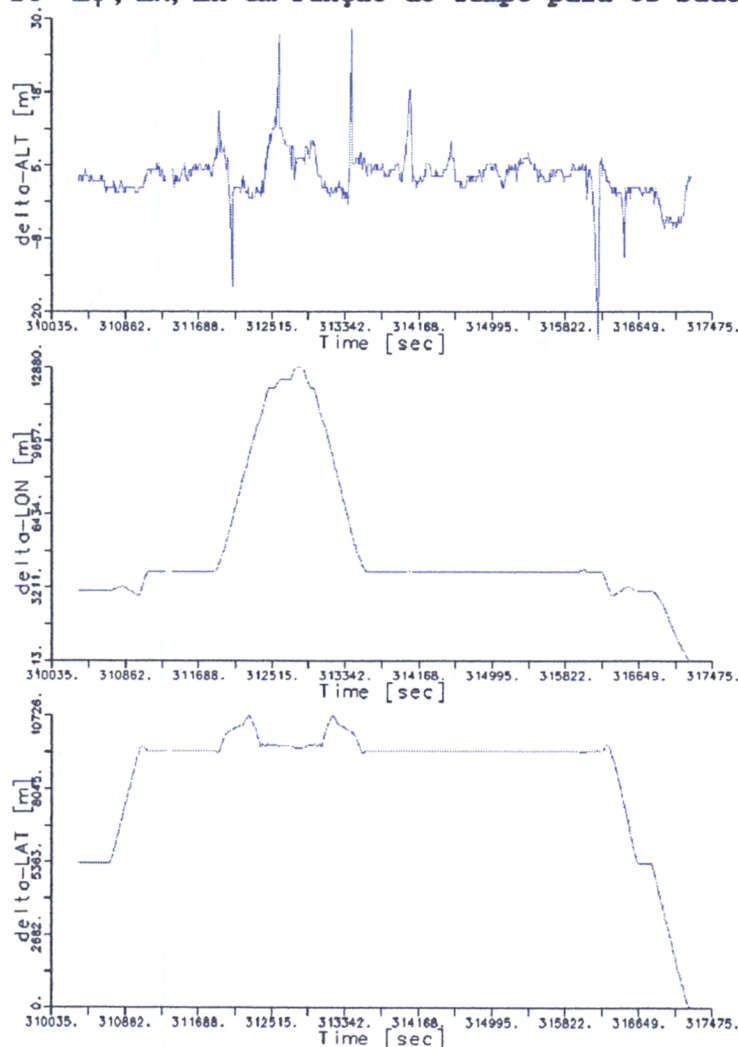


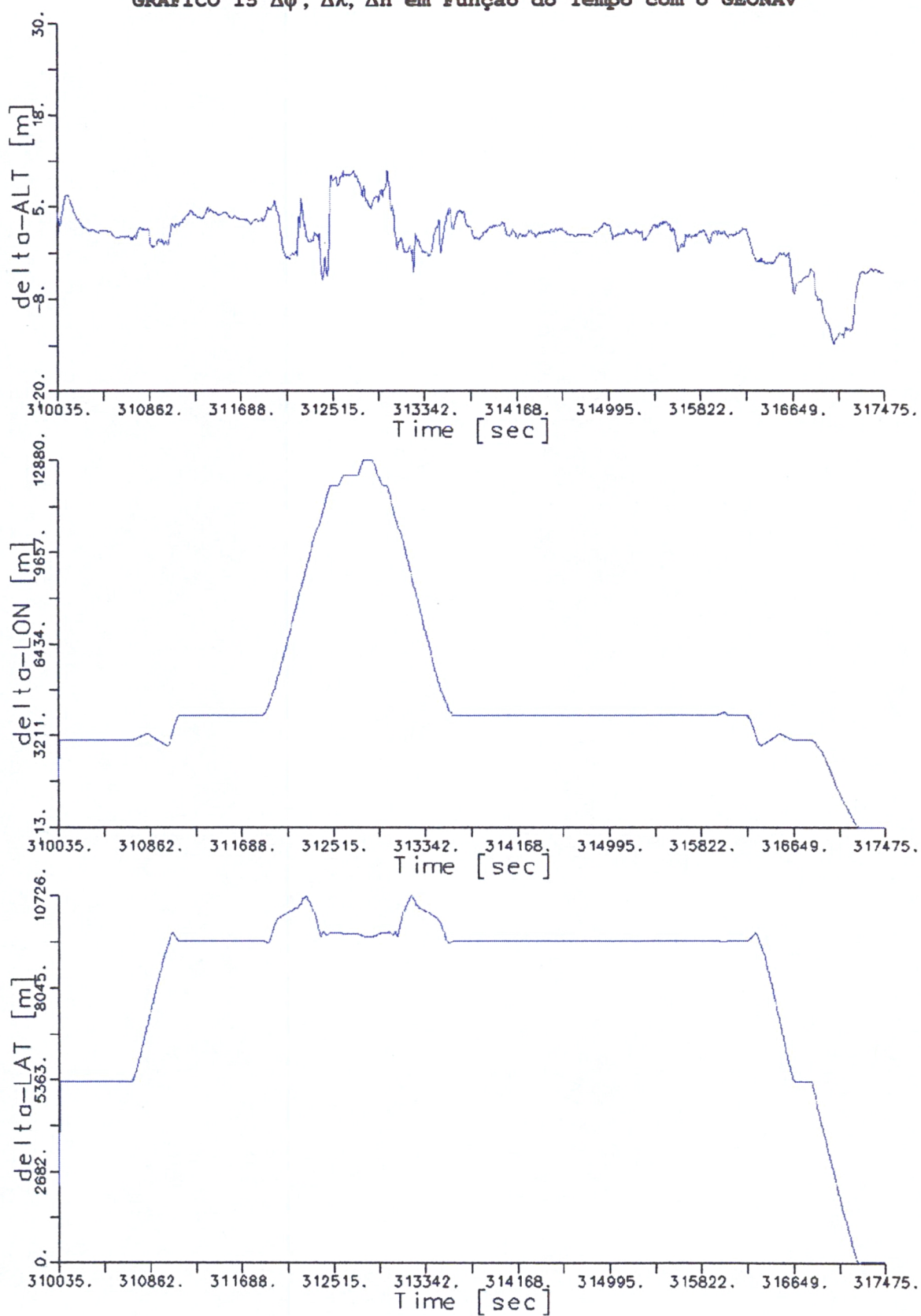
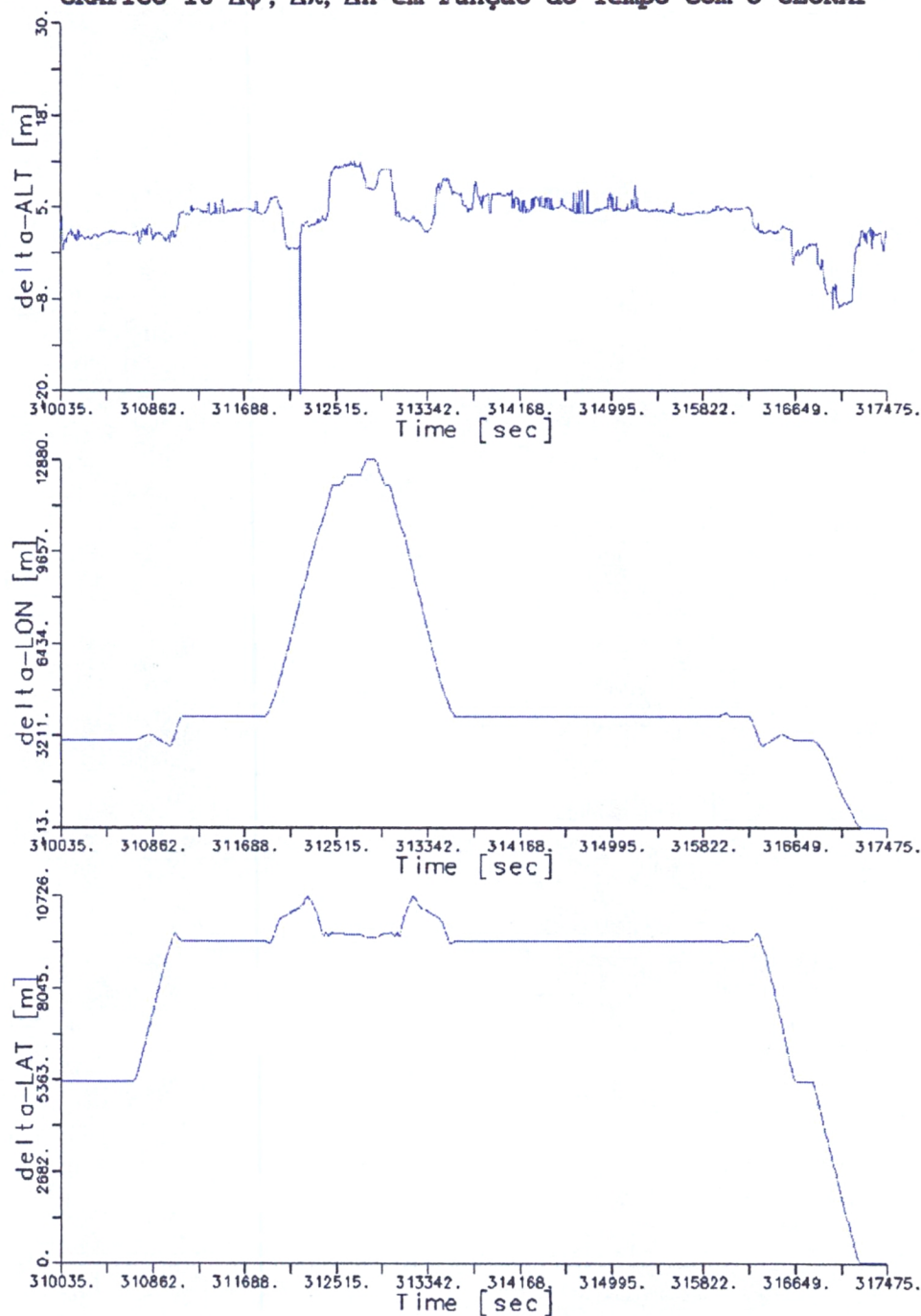
GRÁFICO 15 $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$, Δh em Função do Tempo com o GEONAV

GRÁFICO 16 $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$, Δh em Função do Tempo com o GEONAP

4.2.3) LEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE FER1 A MORRETES

Na elaboração do rxplot da estação fixa, , não houve problema com perdas de sinal, do qual participaram 13 satélites, conforme comprova o gráfico 17.

Já para a estação móvel tem-se um rxplot com algumas perdas de sinal, as quais ocorreram ao longo do percurso, em função dos túneis. As maiores interrupções ao longo deste gráfico devem-se ao fato de se permanecer parado por determinado período em estações, como por exemplo às 12h 30m 30s, às 13h 01m e às 14h 24m 27s, conforme o gráfico 18.

GRÁFICO 17 Gráfico de Visibilidade dos Satélites e Informações

sobre as Perdas de Ciclos em FER1

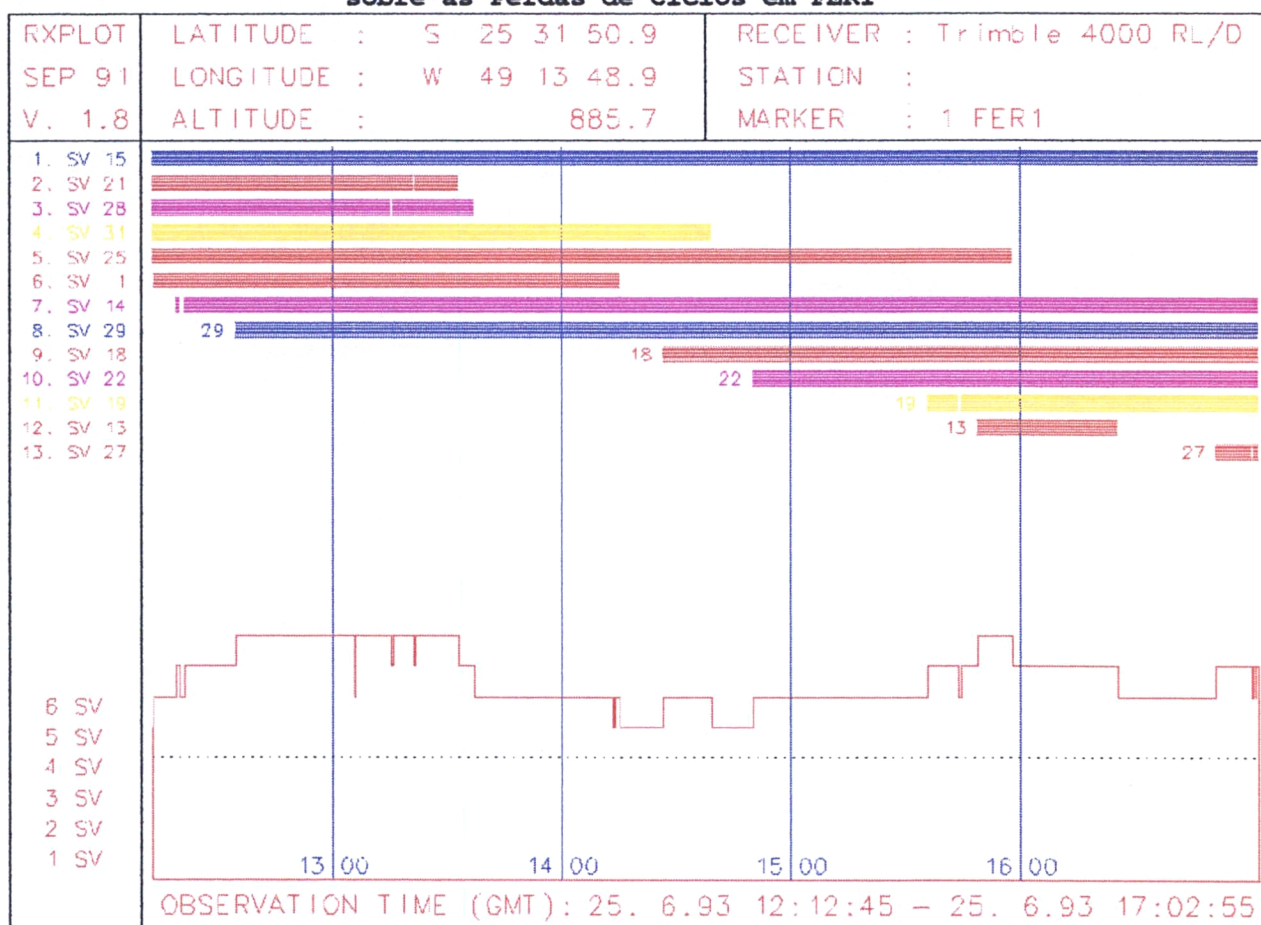
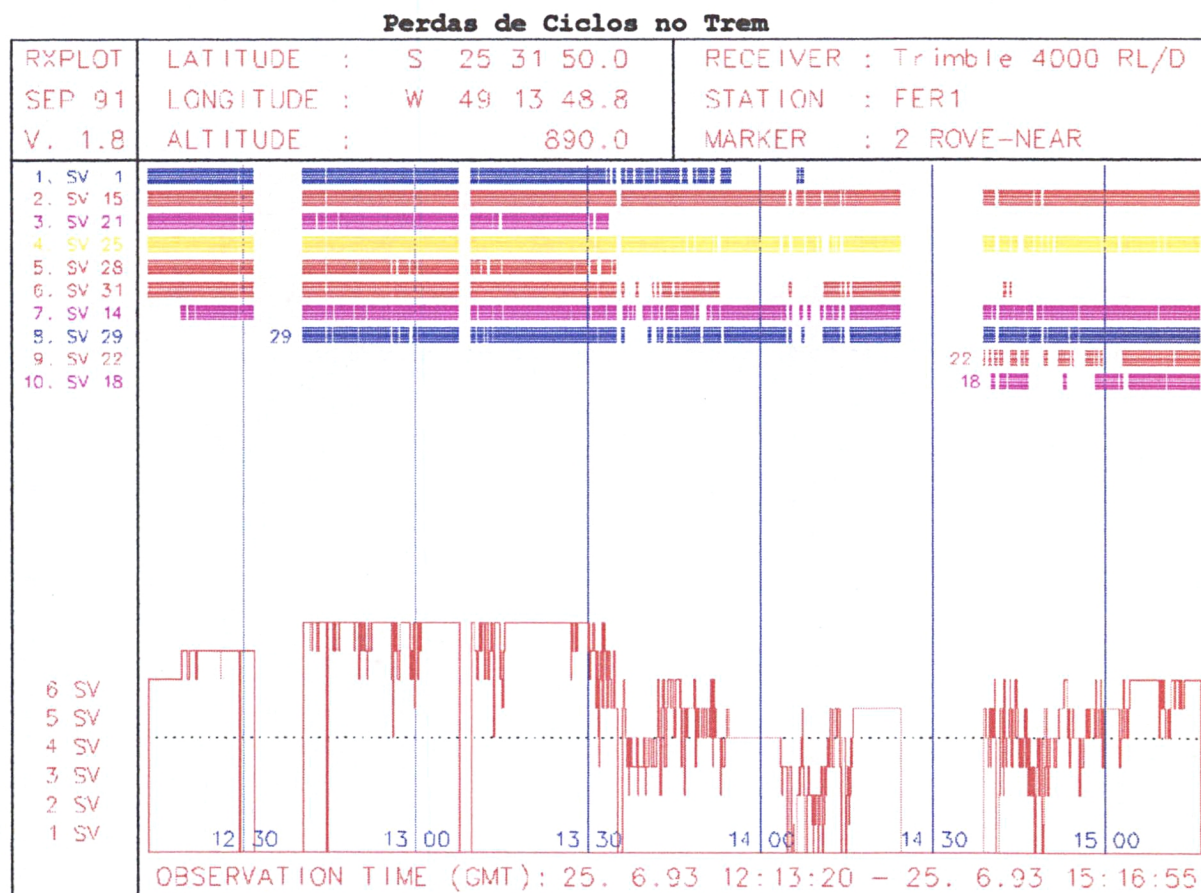


GRÁFICO 18 Gráfico de Visibilidade dos Satélites e Informações sobre as



Houve problema com o sistema de comunicação para este levantamento, conforme citado em 3.3.5., logo, não se apresenta a trajetória descrita .

4.2.4) LEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE FER3 A VÉU DE NOIVA

Neste levantamento foram utilizados os programas TRIMTR E TROCFORM. Com o primeiro foi possível visualizar no computador o mapa básico com o movimento do veículo ao longo do trecho, e ainda obter os dados armazenados em um arquivo. Com o segundo programa foi possível através de um pós-

processamento separar os dados obtidos com e sem as correções diferenciais, geradas na estação de referência.

Analisando os gráficos 19 e 20, obtidos para os pontos com correções diferenciais, e os gráficos 21 e 22, para os sem correções diferenciais, verifica-se que além da estação de Pinhais a maioria dos pontos apresentou-se sem correções para um "age limit" de 5 segundos, ou seja, após a perda do sinal a última posição é mantida por 5 segundos. O gráfico 22 demonstra ainda que há grandes picos na altitude, visto que não há correções.

GRÁFICO 19 Pontos com Correções Diferenciais para a Trajetória de

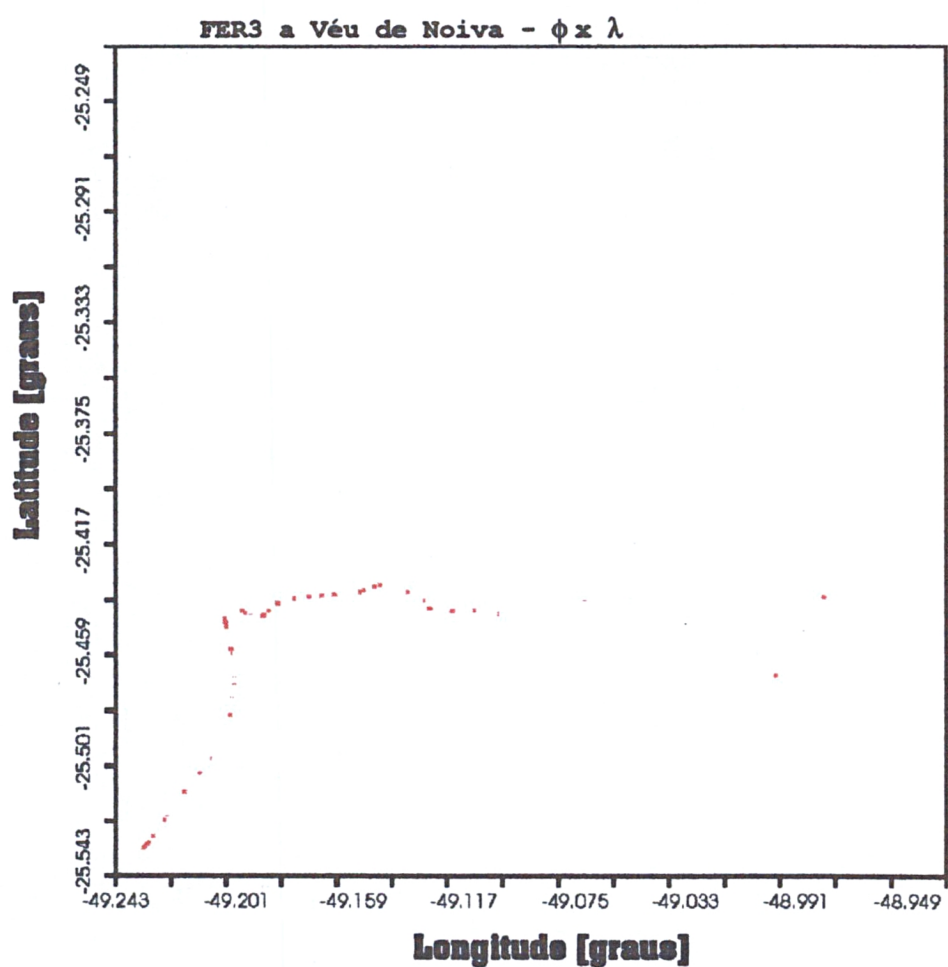


GRÁFICO 20 Pontos com Correções Diferenciais para a Trajetória de
FER3 a Vêu de Noiva - $\Delta\phi, \Delta\lambda, h f(t)$

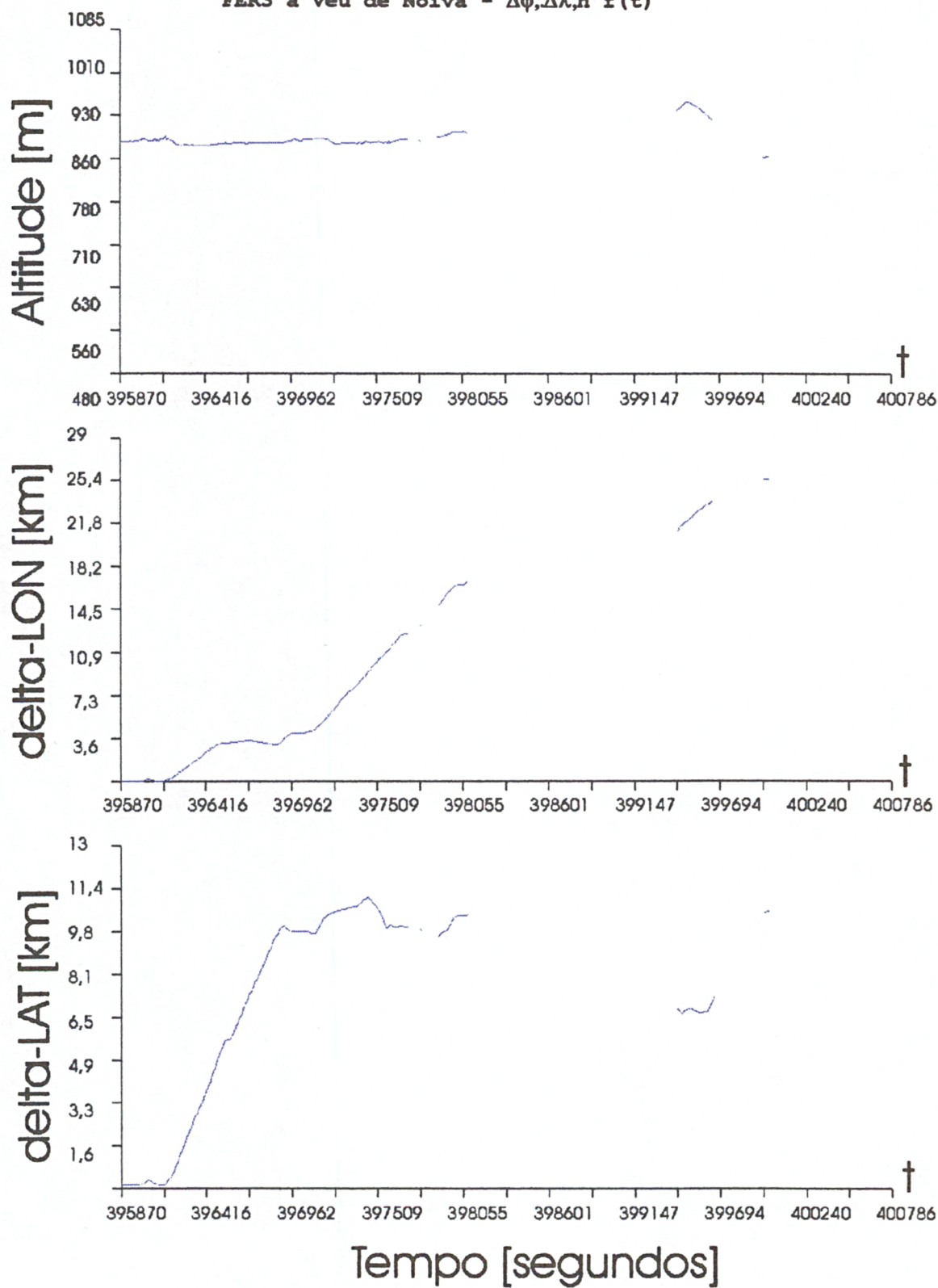
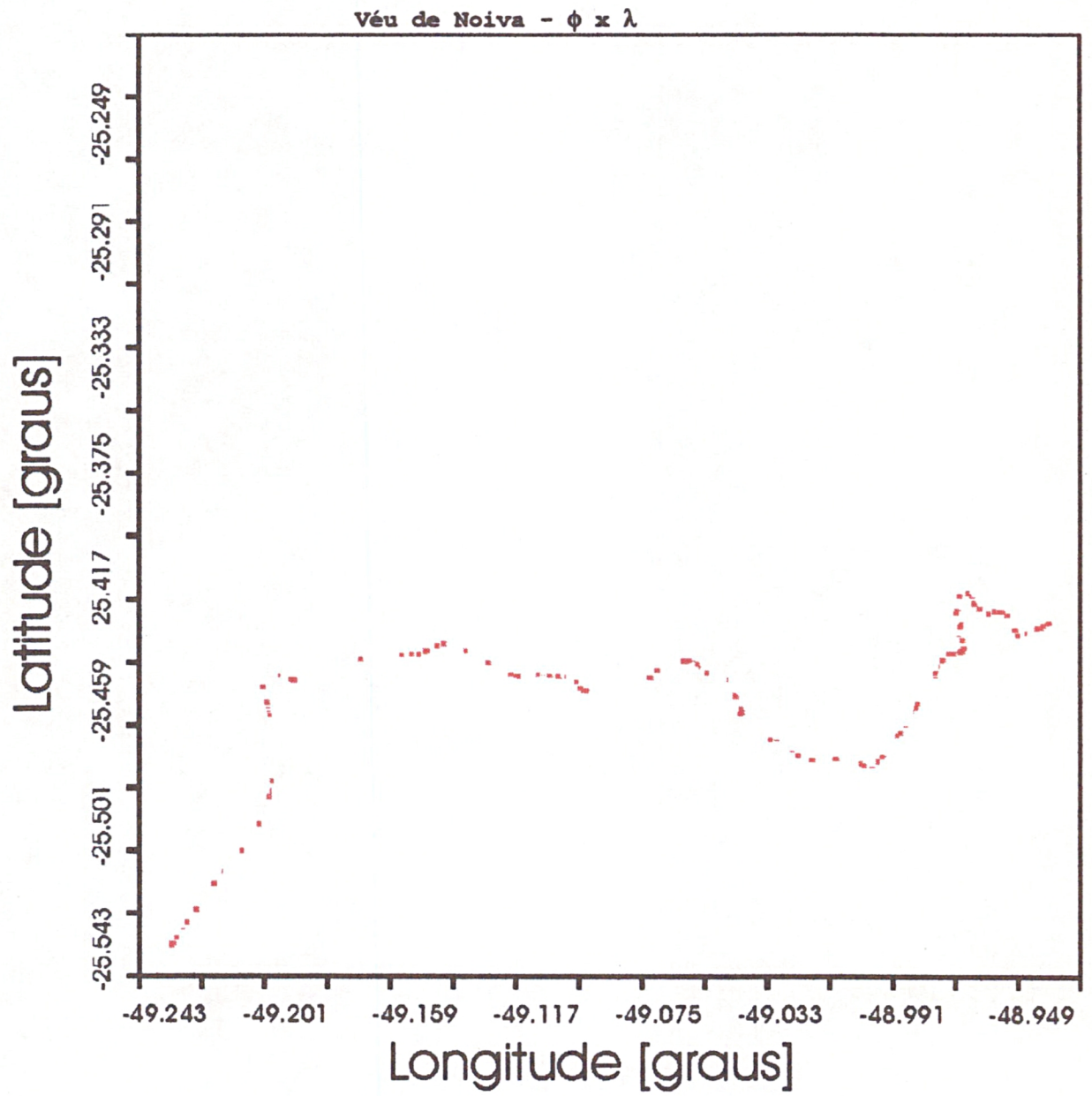
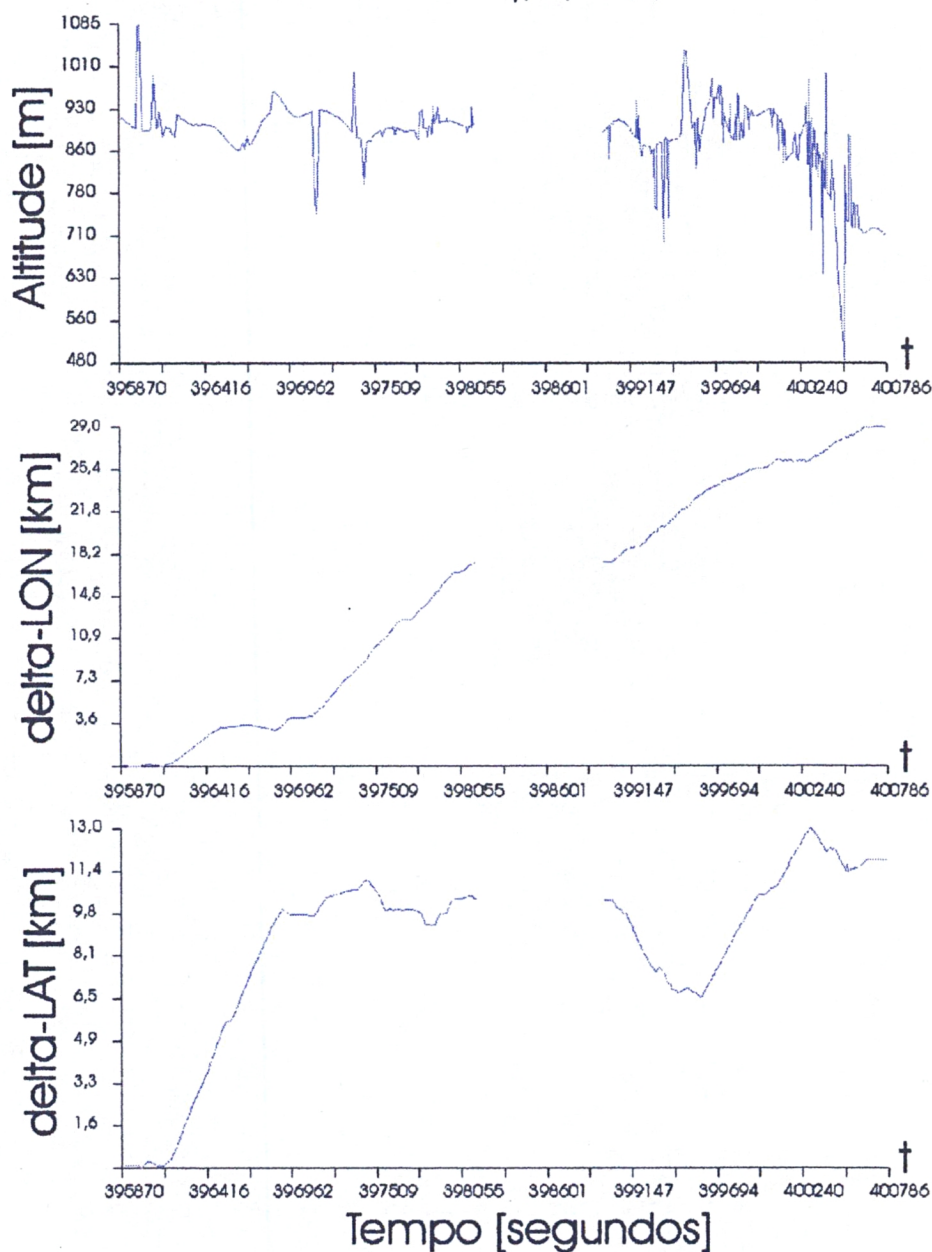


GRÁFICO 21 Pontos sem Correções Diferenciais para a Trajetória de FER3 a



**GRÁFICO 22 Pontos sem Correções Diferenciais para a Trajetória de
FER3 a Vêu de Noiva - $\Delta\phi, \Delta\lambda, h f(t)$**



Ao superpor os gráficos 20 e 22, verifica-se uma estabilidade na altitude para os pontos onde há correções, e também que para a $\Delta\phi$ x tempo tem duas regiões **a** e **b** onde os pontos apresentaram discrepâncias para valores com e sem correções, conforme o gráfico 23. Ampliando a região **a** ter-se-á o gráfico 24. Verifica-se neste que o erro cometido é de

aproximadamente 150 metros, o mesmo ocorrendo para a região **b**. O ideal seria, então, obter correções por todo o percurso, a fim de se obter a trajetória com uma maior precisão. Nesse sentido foi necessário buscar uma outra estação de referência, num ponto mais elevado. Adotou-se o ponto no prédio da administração no Centro Politécnico (ADM1), conforme descrito na seção 3.3.8.

GRÁFICO 23 Superposição dos gráficos 20 e 22 para a

Trajetória de FER3 a VÉU de NOIVA

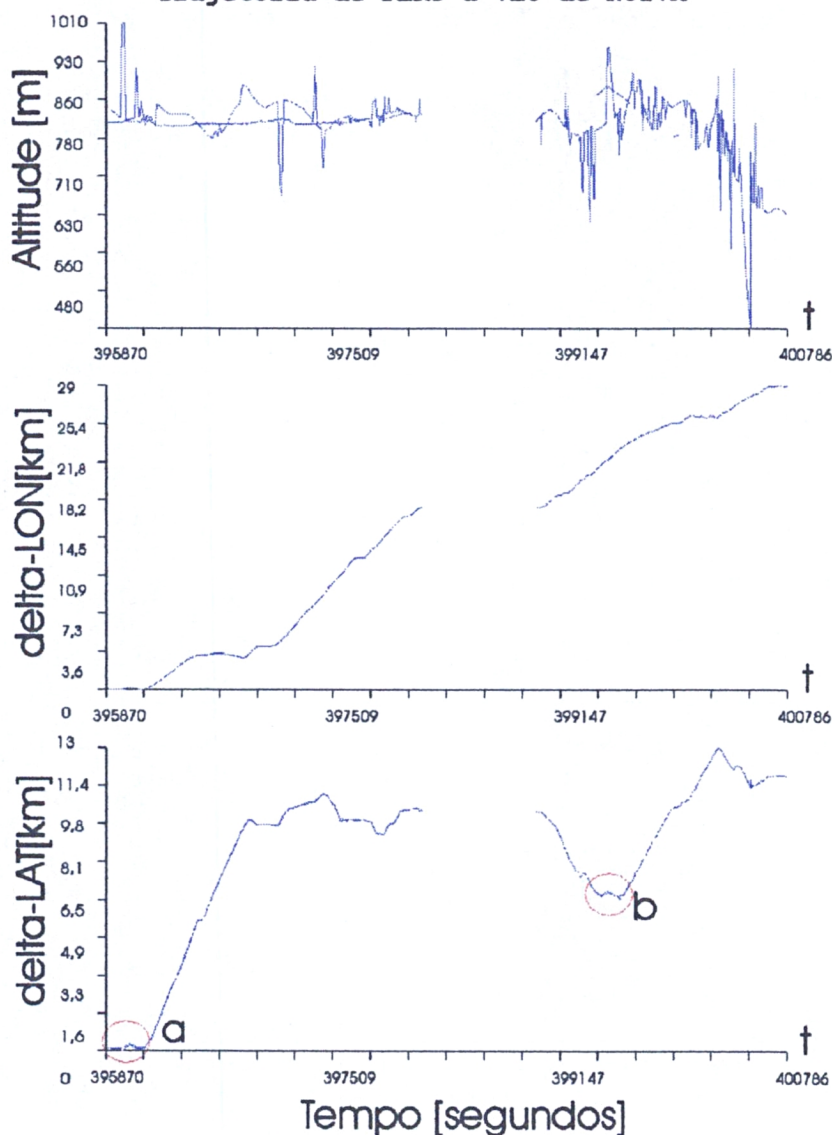
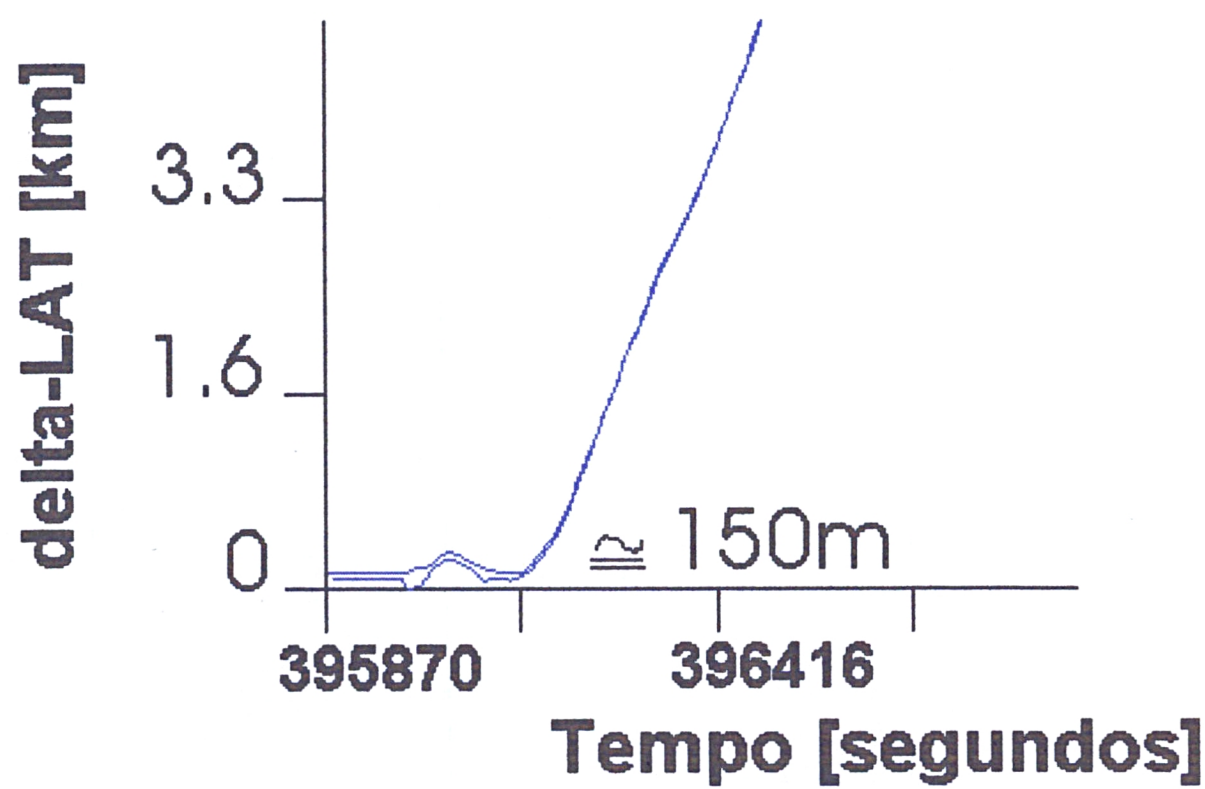


GRÁFICO 24 Detalhe a do Gráfico 23



4.2.5) LEVANTAMENTO DIFERENCIAL DA ESTAÇÃO IGUAÇU A BANHADO

Na seção em 3.3.9 foi feita a descrição deste levantamento. Os gráficos 25 e 26 demonstram os rxplot para a estação de referência e para a estação móvel, respectivamente. O gráfico 25 apresenta a presença de 12 satélites sem perdas de sinal, enquanto o gráfico 26 mostra 9 satélites para o percurso de Iguaçu a Banhados. Houve perda de sinal durante o percurso, devido aos túneis e à passagem do trem sob viadutos, porém, por um curto intervalo de tempo.

GRÁFICO 25 Gráfico de Visibilidade dos Satélites e Informações

sobre as Perdas de Ciclos em ADM1

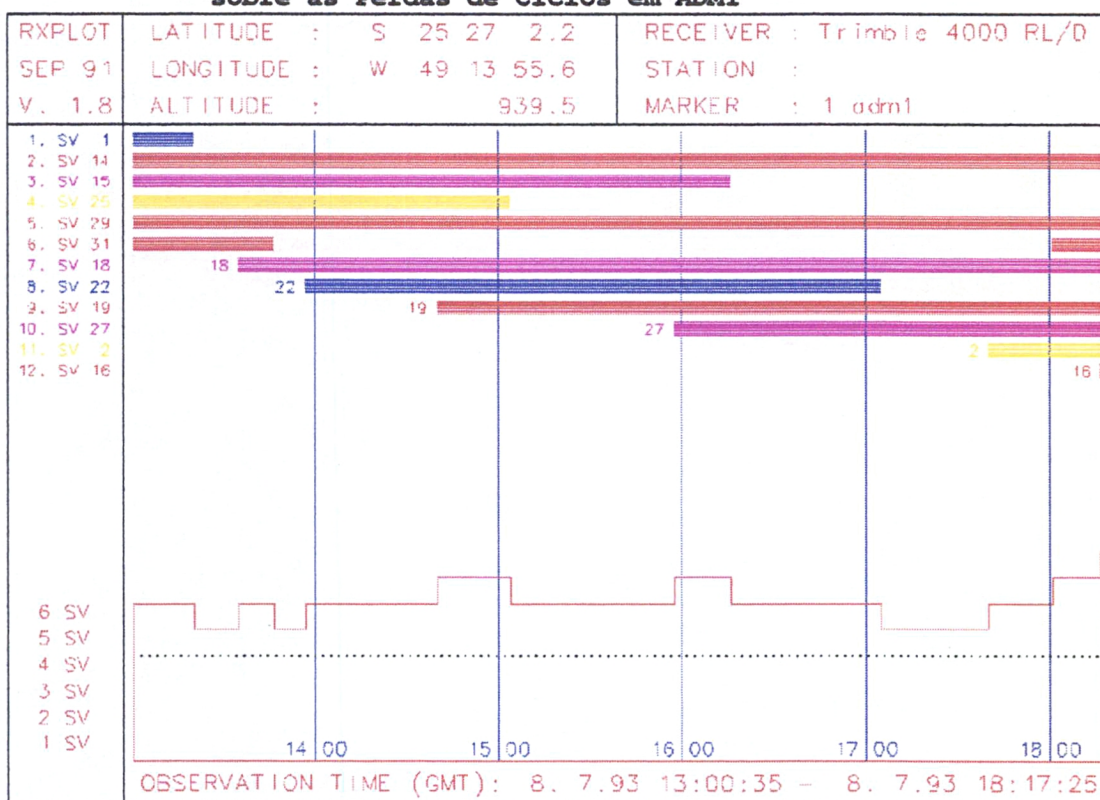
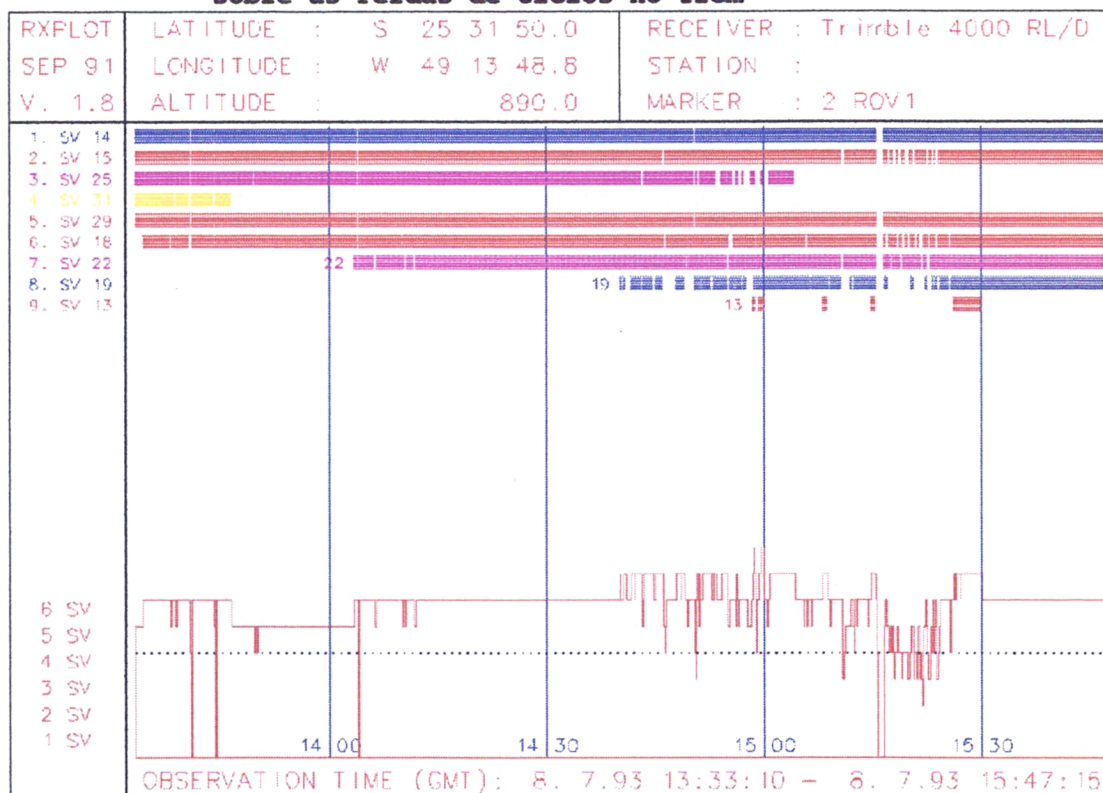
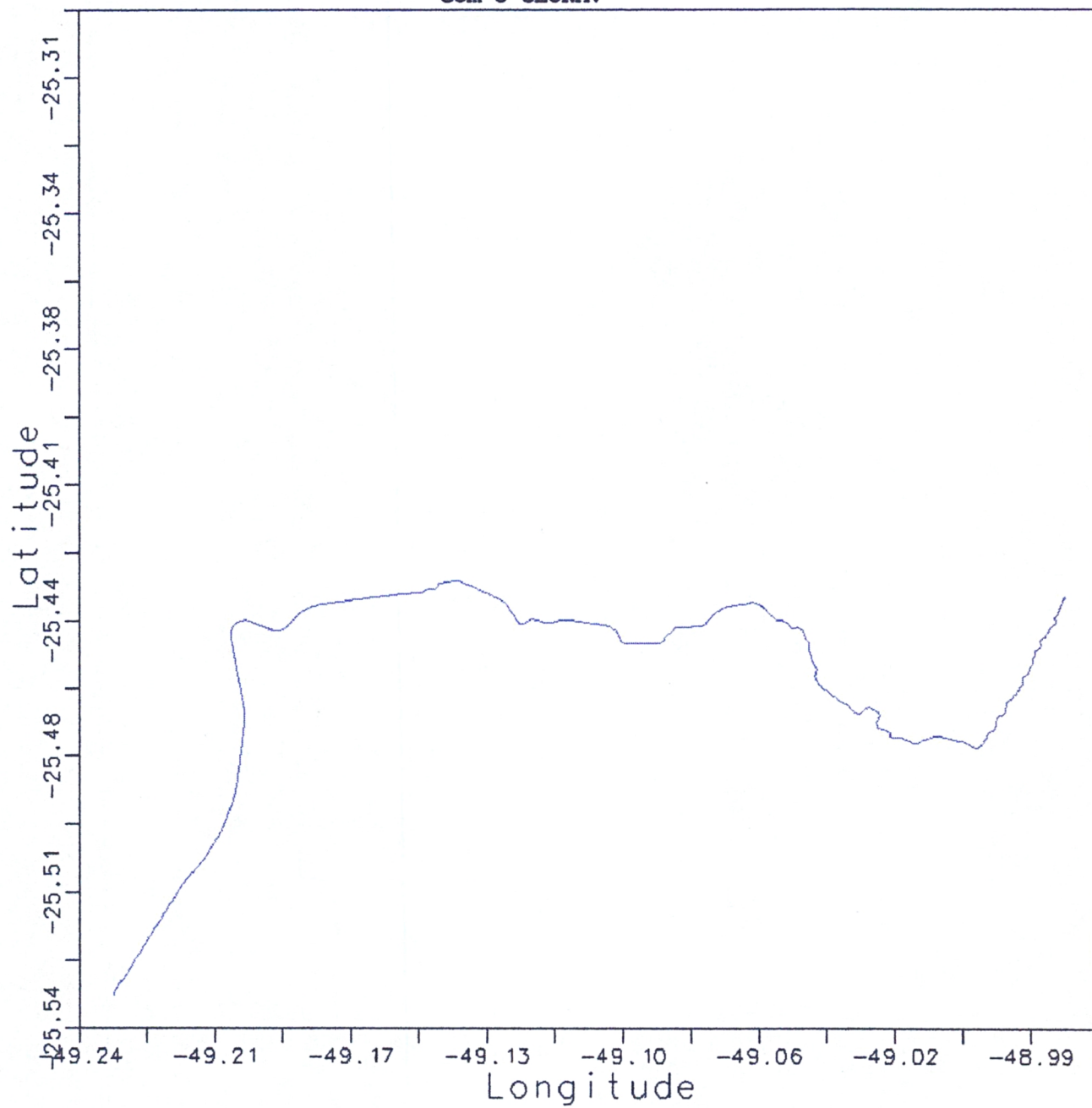


GRÁFICO 26 Gráfico de Visibilidade dos Satélites e Informações**sobre as Perdas de Ciclos no Trem**

Realizando um pós-processamento dos dados para este levantamento com o GEONAV, foi possível obter a trajetória descrita no gráfico 27. Ao comparar a trajetória de ida com a de volta, verificou-se que estas são semelhantes. O gráfico 28 relaciona $\Delta\phi, \Delta\lambda$ e Δh , em função do tempo. Grandes variações ocorreram, conforme o esperado, visto que esta trajetória vai de Parque Iguaçu, com uma altitude aproximada de 885,7246m, até Banhado, com uma altitude de 861,9501m. Logo, há uma diferença de altitude de cerca de 25m.

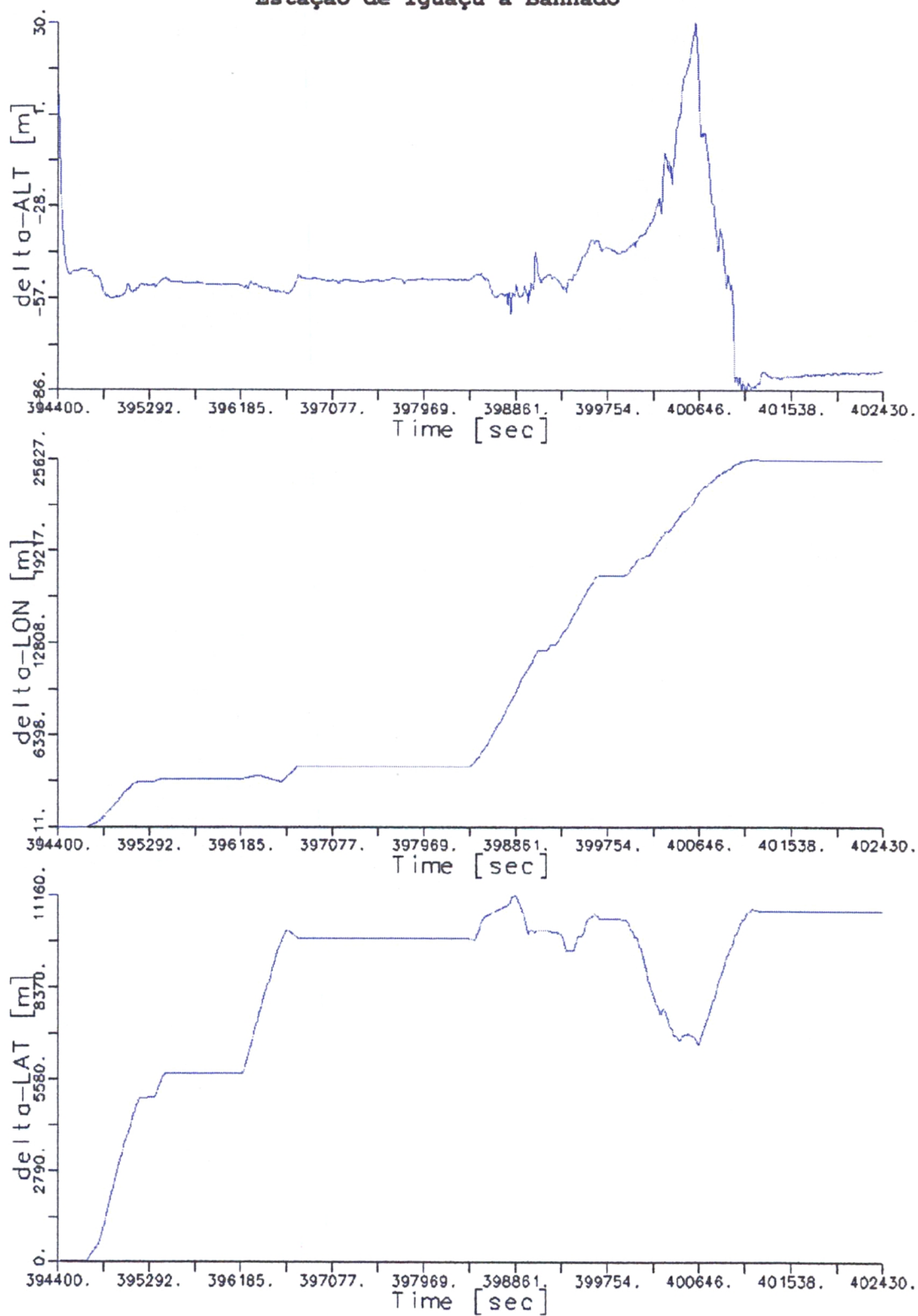
GRÁFICO 27 Trajetória Descrita da Estação Iguaçu a Banhado Obtida

com o GEONAV



Latitude e longitude em graus

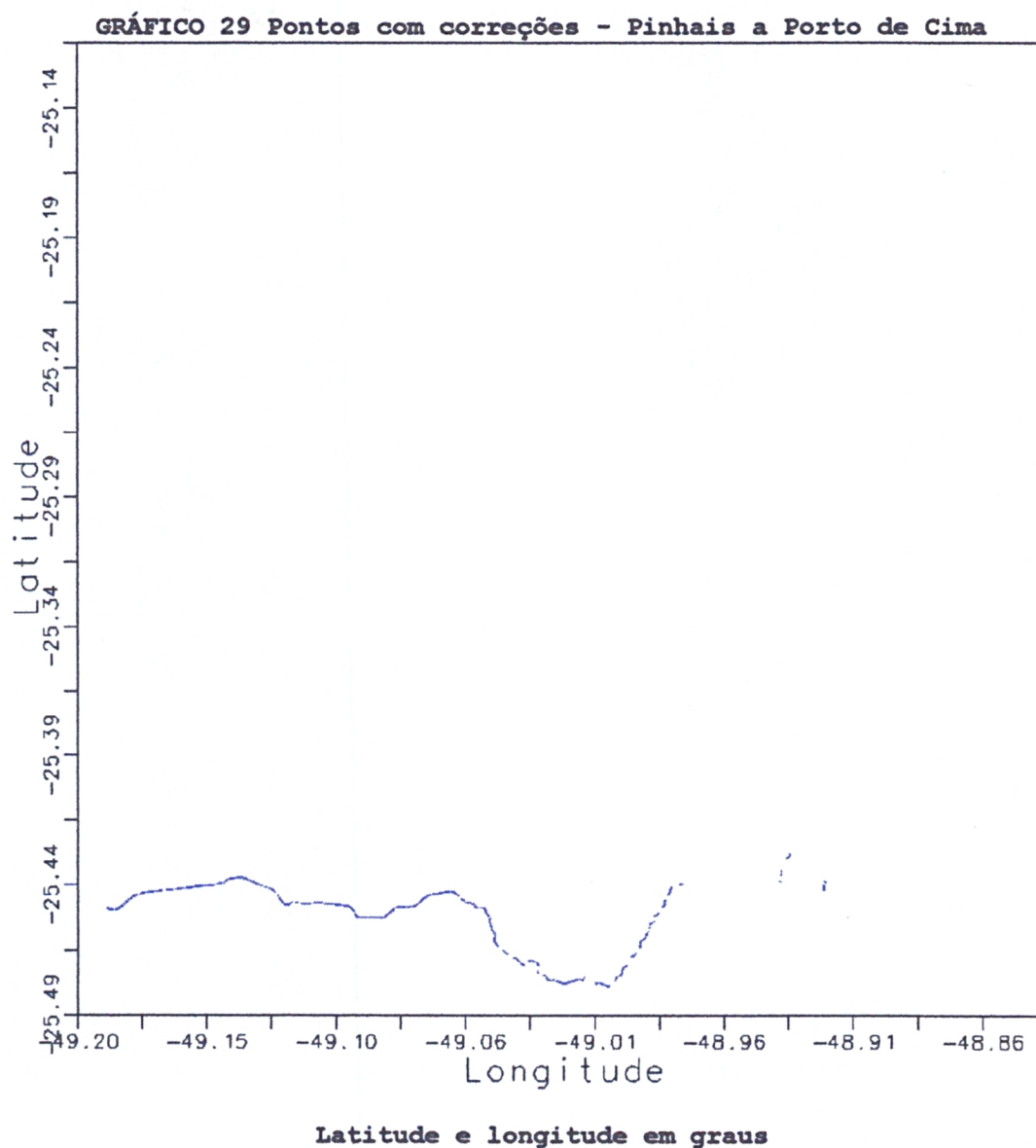
GRÁFICO 28 $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$ e Δh Obtido com o GEONAV para o Levantamento da
Estação de Iguaçu a Banhado

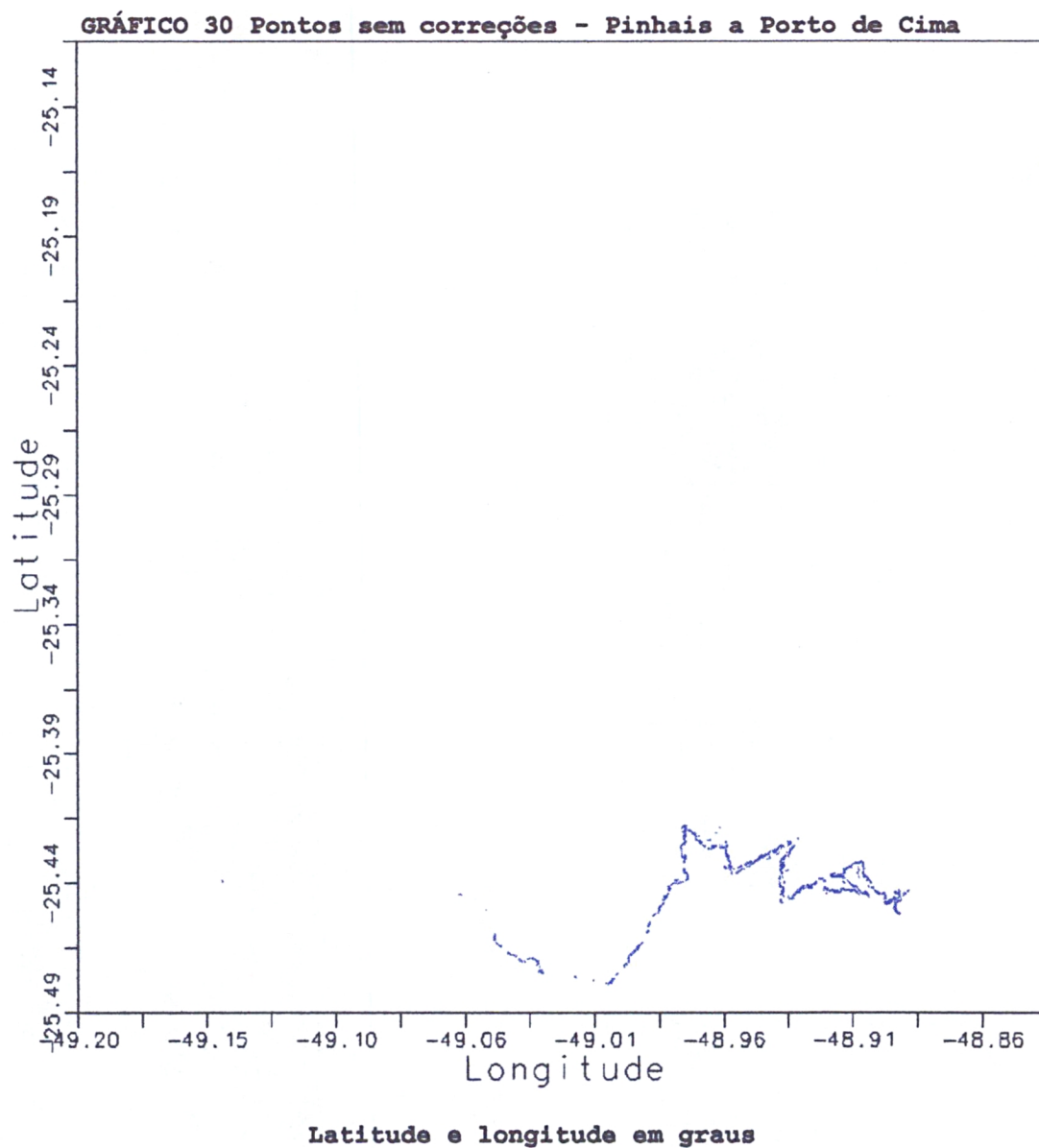


4.2.6) LEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE PINHAIS A PORTO DE CIMA

Conforme o levantamento descrito anteriormente em 3.3.10, foi possível obter, com o auxílio do programa TRIMTR, os dados com e sem correções separadamente.

No gráfico 29 são apresentados os pontos com correções e no 30 os pontos sem correções, para um "age limit" de 20 segundos, em tempo real.





Pelos gráficos constata-se que após a região de Banhados praticamente não se obteve coordenadas com correções.

Uma carta da região de Piraquara indica a existência da Serra do Baitoca, próxima à represa de Leprevost, a qual atuou como uma barreira para as regiões seguintes.

A solução para este problema é a implantação de uma estação de referência intermediária ou estações repetidoras ao longo do percurso.

Estes dados foram processados com o GEONAV para o percurso de ida, obtendo-se os gráficos 31 e 32. O gráfico 31 representa a trajetória de Pinhais a Roça Nova e o 32 de Roça Nova a Porto de Cima. As trajetórias obtidas nestes gráficos são as mesmas que as dos gráficos 29 e 30. Os gráficos 31 e 32 encontram-se melhor definidos devido a utilização do programa , em pós-processamento.

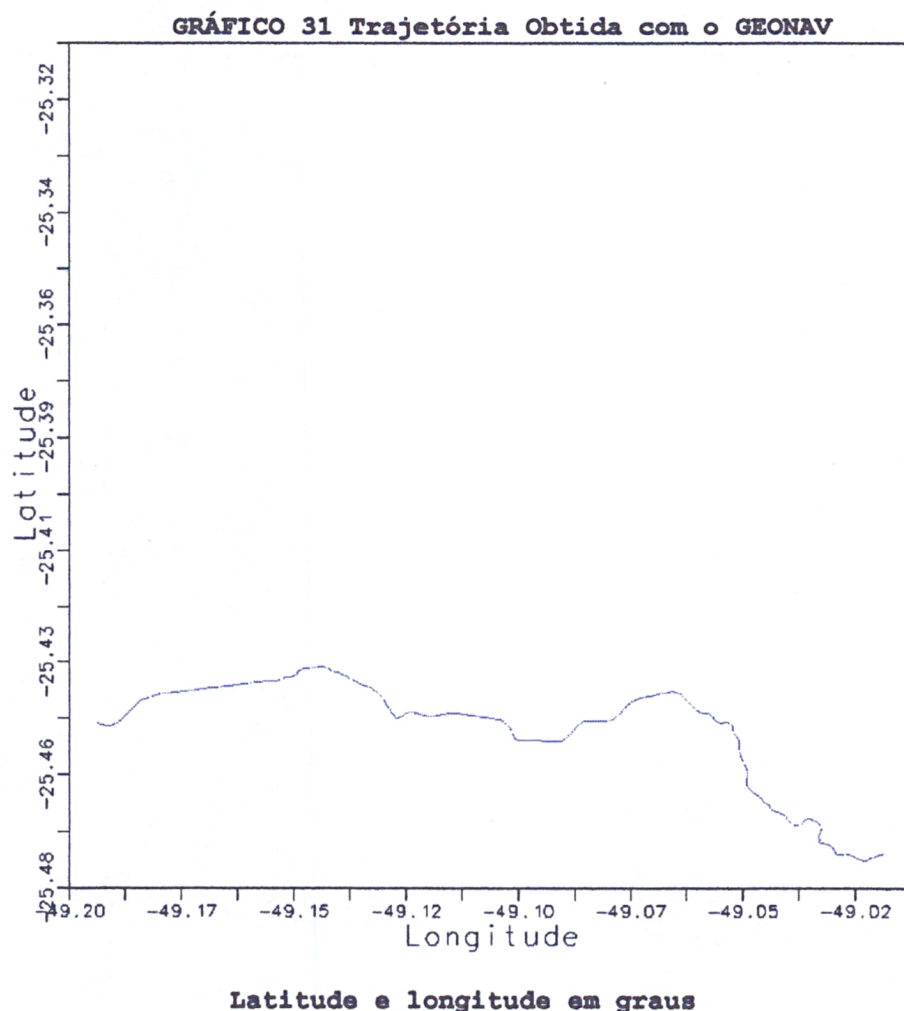
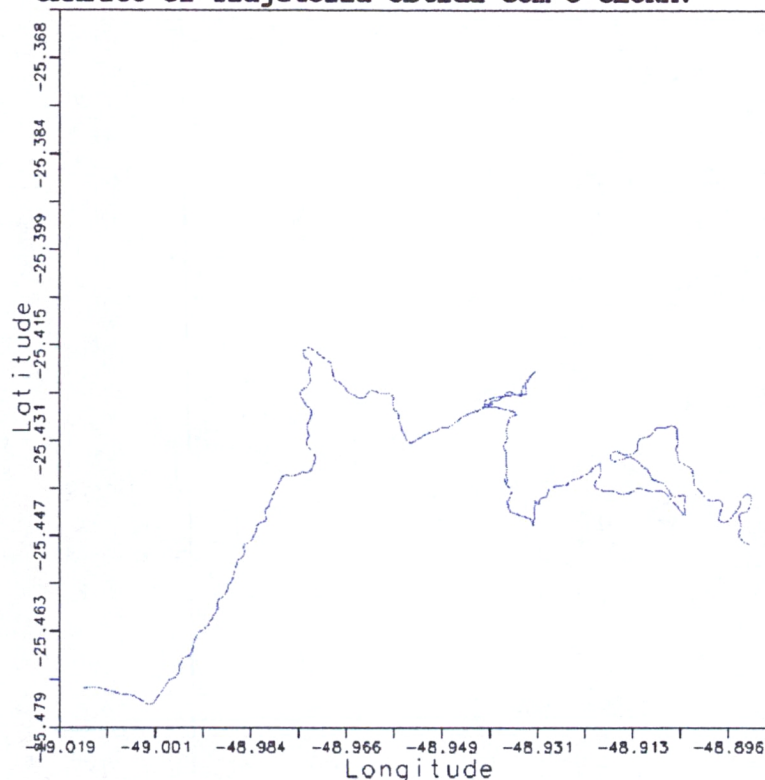


GRÁFICO 32 Trajetória Obtida com o GEONAV

Latitude e longitude em graus

4.2.7) LEVANTAMENTO DIFERENCIAL DE PINHAIS A BANHADO

Descrito em 3.3.13, este levantamento foi realizado com um "age limit" de 10 segundos para o percurso de ida e de 100 segundos para o de volta. Os dados brutos foram coletados com o programa TRIMTR e separados em dados com e sem correções.

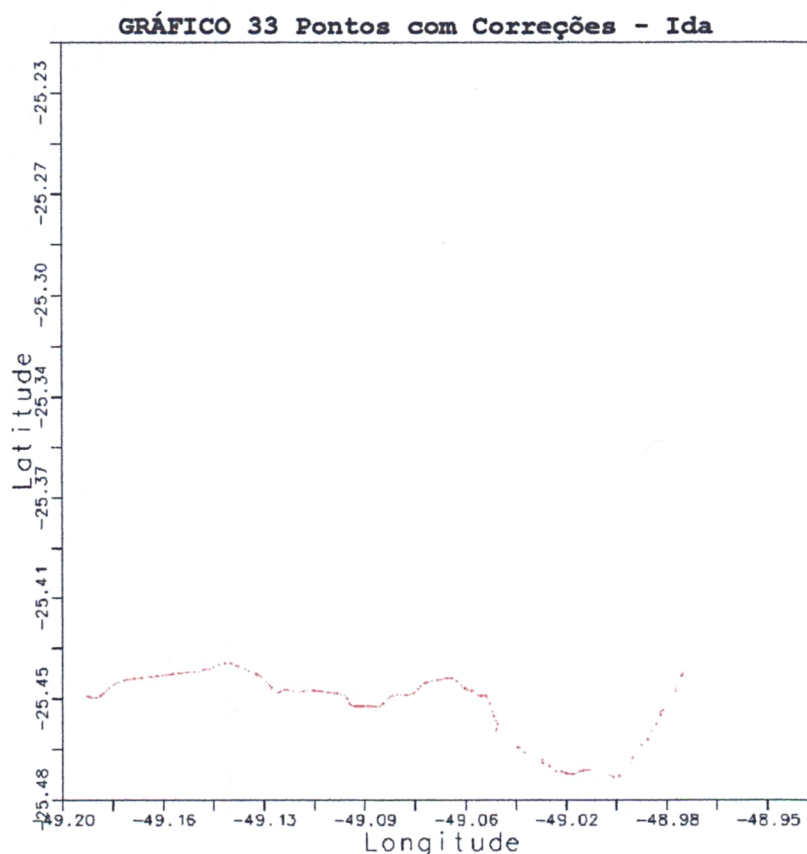
O gráfico 33 apresenta o percurso de ida com os pontos com correções e gráfico 34 com os pontos sem correções, em tempo real.

Os gráficos 35 e 36 apresentam o percurso de volta com os pontos com e sem correções, respectivamente, em tempo real.

Comparando os gráficos 33 e 35, é interessante observar que o segundo apresenta uma trajetória mais completa.

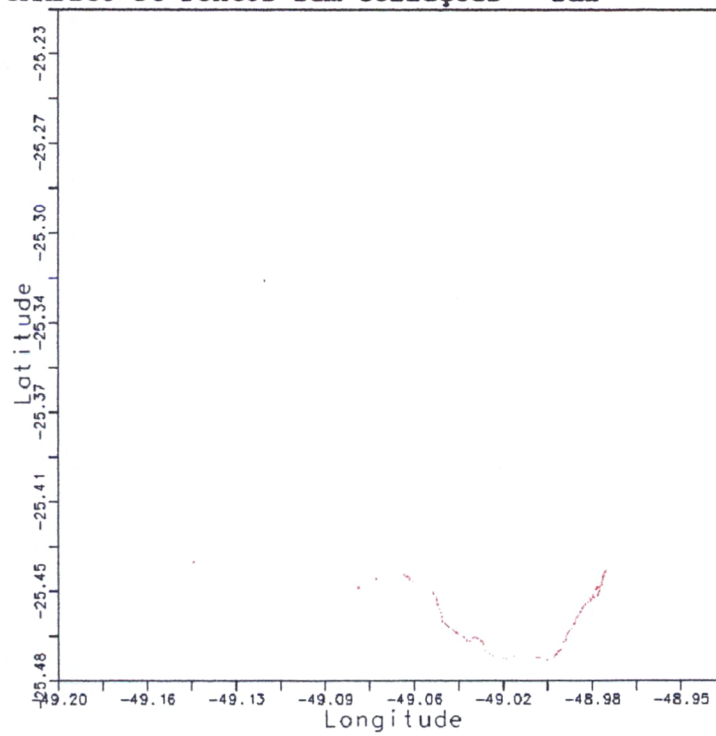
Logo, é possível afirmar que para um "age limit" de 100 segundos obtém-se um ponto com boa precisão, mas não se detecta facilmente onde há a perda do sinal. Com um "age limit" de 10 segundos, por sua vez, é possível detectar onde houve a perda do sinal, embora o ponto não apresente, uma boa precisão.

Então foi constatado que para a RFFSA seria conveniente adotar um "age limit" de 100 segundos, pois desejava-se conhecer a posição do trem em tempo real.



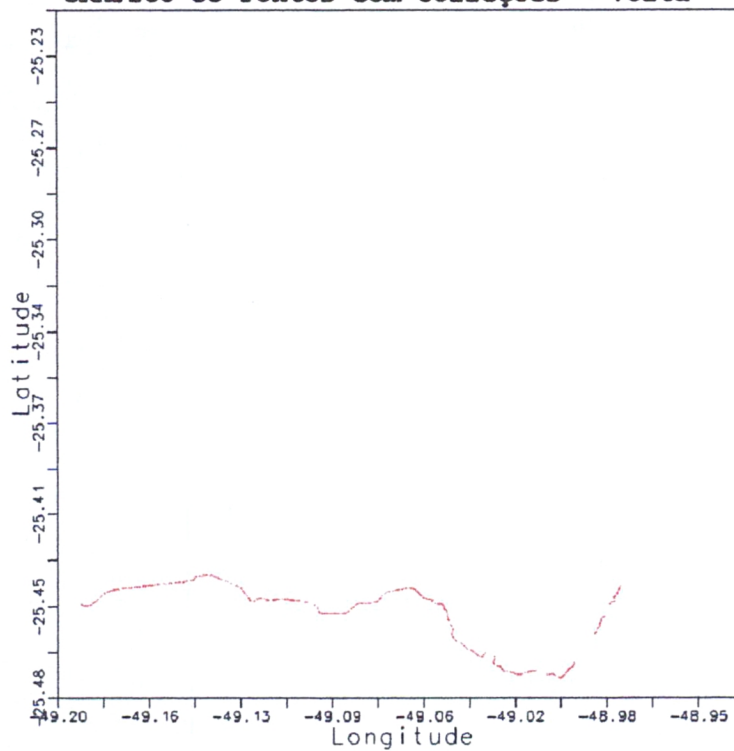
Latitude e longitude em graus

GRÁFICO 34 Pontos sem Correções - Ida

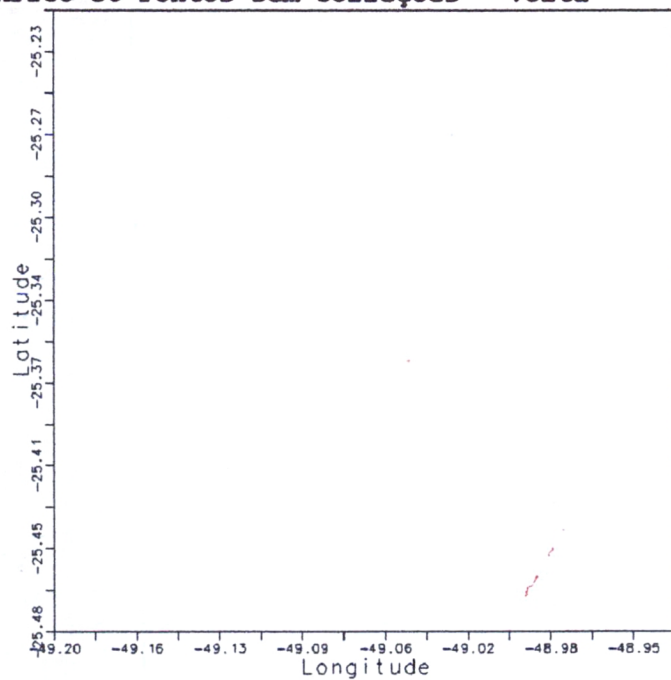


Latitude e longitude em graus

GRÁFICO 35 Pontos com Correções - Volta

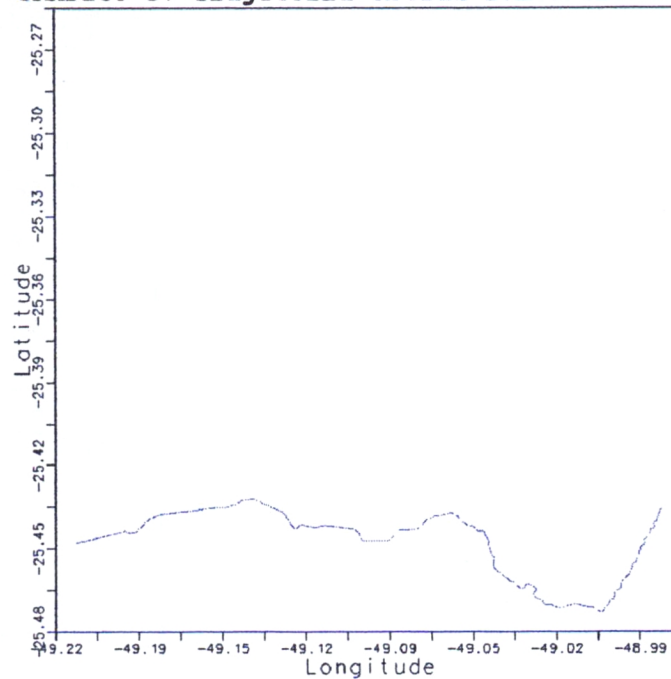


Latitude e longitude em graus

GRÁFICO 36 Pontos sem Correções - Volta

Latitude e longitude em graus

O gráfico 37 demonstra que a trajetória obtida com o GEONAV é semelhante às obtidas com os dados brutos.

GRÁFICO 37 Trajetória Obtida com o GEONAV

Latitude e longitude em graus

CAPÍTULO 5

TESTES NO SISTEMA DGPS

Durante o desenvolvimento dos levantamentos descritos em 3.3, foi possível constatar que havia alterações nos resultados em função dos parâmetros escolhidos. Concluiu-se que seria necessário realizar alguns testes, buscando respostas a estas.

Alguns testes foram realizados no trem, durante as esperas nas estações, e outros utilizando um carro.

Os testes realizados foram quanto:

- ao "age limit";
- ao canal do rádio; e
- à taxa de transmissão.

5.1) "AGE LIMIT"

Durante os levantamentos, ficou constatado que este critério era um dos fatores que influenciava na obtenção das trajetórias.

Foram realizados testes com relação ao "age limit", posicionando-se o receptor RL no ponto ADM1 e o DL num carro estacionado.

Inicialmente introduziu-se no receptor DL um "age limit" de 100 segundos. As correções foram recebidas a cada 5 segundos, e após 12 minutos desconectou-se o rádio por um

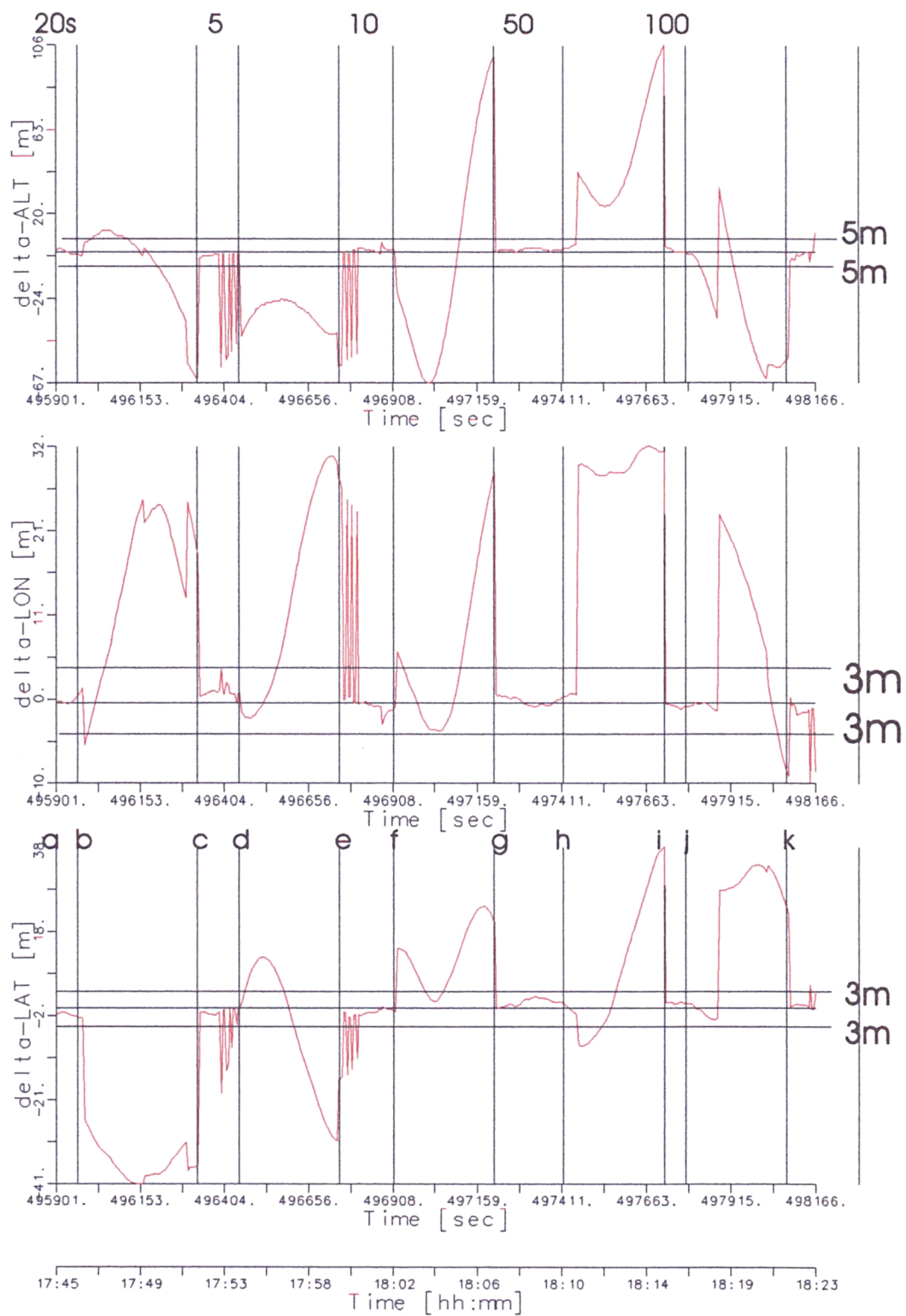
período de 240 segundos, depois dos quais ele foi conectado novamente. Esta operação foi repetida por mais uma vez. Após desconectado o rádio, foram necessários 30 segundos até a perda da precisão.

Foram realizados novos testes quanto ao "age limit" na estação de Banhado. O gráfico 39 mostra a variação de $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$ e Δh , em função do tempo para os diferentes valores do "age limit" (20, 5, 10, 50 e 100 segundos). Neste gráfico tem-se:

- a -> sistema com um "age limit" igual a 20s;
- b -> desconecta-se o sistema de comunicação;
- c -> conecta-se este sistema e modifica-se o "age limit" para 5s;
- d -> desconecta-se o sistema;
- e -> conecta-se o sistema e modifica-se para 10s;
- f -> desconecta-se o sistema;
- g -> conecta-se o sistema e modifica-se o "age limit" para 50s;
- h -> desconecta-se o sistema;
- i -> conecta-se e modifica-se para 100s;
- j -> desconecta-se o sistema; e
- k -> conecta-se o sistema e modifica-se para 5s.

Para um "age limit" igual a 100 segundos tem-se um maior intervalo de tempo antes da perda da precisão, o que já não se verifica para 5 segundos, pois a perda da precisão é quase que instantânea.

GRÁFICO 38 Teste "Age Limit"



5.2) CANAL DO RÁDIO

Foram realizados testes quanto ao canal para a transmissão e a recepção das correções às pseudodistâncias. Estes testes utilizaram um carro, que se deslocou da UFPr à Piraquara. Através do canal 01 e do canal 04, obteve-se gráficos para os pontos com e sem correções.

Foi possível constatar que os pontos sem correções são praticamente os mesmos, conforme demonstra a superposição dos gráficos. O mesmo ocorreu para os pontos com correções, sendo que estes apenas diferiram no percurso inicial, da UFPr até próximo ao Detran, devido à impossibilidade de se descrever o mesmo trajeto.

Conforme se pôde concluir sobre estes dois canais, não há qualquer alteração substancial nos resultados dos dados obtidos.

5.3) TAXA DE TRANSMISSÃO DOS DADOS

Foram realizados testes quanto à taxa de transmissão dos dados para os levantamentos. Testou-se inicialmente para 110bps, 300bps e 600bps, porém nada aconteceu no sistema de comunicação, que não acusava a transmissão das correções.

Para 1.200bps, 2.400bps e 4.800bps, o modem da estação de referência acusou o sinal, porém o sistema de comunicação não funcionou continuamente.

Já para 19.200bps e 38.400bps houve sinal no alarme do modem, mas o sistema continuava a não funcionar continuamente e de forma regular.

Para 9.600bps o sistema funcionou regularmente e sem qualquer anormalidade.

Concluiu-se que apesar dos receptores RL e DL aceitarem qualquer uma destas taxas de transmissão, o sistema de comunicação não as aceita, senão para 9.600bps. Logo, verificou-se que o modem possuía esta especificação.

Buscou-se alterar esta taxa, pois a utilização de uma taxa de transmissão dos dados igual a 1.200bps provoca uma perda em velocidade, porém um ganho na qualidade do sinal.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Com o presente trabalho muito se aprendeu sobre o sistema DGPS, ainda novo para o Brasil.

O sistema de comunicação foi o principal problema no sistema DGPS para este trabalho, junto à RFFSA. O ideal para este tipo de levantamento é utilizar um "age limit" de 100s.

Em posição obteve-se uma precisão melhor que 3 metros e melhor que 5 metros em altitude.

Quando a altitude é importante para o levantamento, deve-se adaptar um programa, p.ex. GEONAV, para o processamento dos dados em tempo real.

Os resultados obtidos com as perdas dos sinais do GPS, durante os levantamentos na serra do mar, foram muito além das expectativas, pois apesar da conformação do terreno, foram poucas as suas perdas.

Em trechos curtos, onde há quase que completamente a recepção das correções, é possível obter precisões equivalentes para as trajetórias obtidas em tempo real e em pós-processamento com o Geonav.

É de extrema importância a escolha do ponto para a implantação do sistema de comunicação na estação de referência.

Recomenda-se a implantação de estações repetidoras, ao longo do percurso, para a transmissão das correções, assim como de estações de referências por regiões. Também é importante a implantação de um sistema de proteção para verificar se o sistema é confiável ou não.

A fim de reduzir custos, o mesmo rádio deve ser utilizado para a recepção das correções e para a transmissão das coordenadas corrigidas, operando apenas com diferentes frequências.

Embora não apresente problemas no que tange a parte geodésica, o sistema necessita de um grande apoio na área de comunicações e de sistemas.

Finalmente, é preciso dizer que um sistema DGPS amplo necessita de programas de grande capacidade e eficiência.

ANEXO 1 - ESQUEMA DAS LINHAS DA SR-5

ANEXO 2 -- INFORMAÇÕES OBTIDAS NO CCO

1 - CONSULTA - TRABALHO DAS LOCOS APOS ULTIMO ABASTECIMENTO
 TER 5 OUT 1993 10:23
 LOCOMOTIVA - 904602-0
 ULTIMO ABASTECIMENTO: 04/10/93 ==> LDO-DEP. IGUACU / PA2D 3500 Lts / TI #14
 -----ANEXACAO-----RETIRADA/MUDANCA-----KM-----MANOBRA/CLIENTE/INTER
 Prefixo a Loc Fc Data a Loc Fc Data a Trac Reb a Pat Cod / Dias/Horas
 CCL1907 a LIC 01 04/10/93 a LAW ** 04/10/93 a 14 a
 PC00107 a LAW 01 04/10/93 a LRO ** 05/10/93 a 104 a
 KSF9002 a LRO 15 05/10/93 a LVV a 132 a
 TOTAIS a 118 132 a historico : 0 00:00
 CAPACIDADE DO TANQUE : 7000 L CONSUMO : Medio historico : 7.11 L/Km
 QUILOMETRAGEM ATE O DESTINO : 10 Km ate o momento : 838 L
 AUTONOMIA RESTANTE : 866 Km

.2.1 - CONSULTA POR TREM - COMPOSICAO ORDENADA DO TREM
 rem CCP 1610 05OUT93 09:45-P Local - LNH - PINHAIS TER 5 OUT 1993 10:01

atricula	Nome esc	Fnc	Prp	Dsp	Abert	Cadern	H Trb
0039313 3	JACINTO	010	LIC	LDP	05OUT93	08:30	1:31
0046892 3	ALTAIR	010	LIC	LDP	05OUT93	08:30	1:31

		Veiculo	Prv	Dsv	Mrc	Dest	Tu	Tb	F1
		904401 9L	LIC	LDP			0	73	01
		904361 6L	LIC	LDP			0	73	04
		904423 0L	LIC	LDP			0	73	15
	HFD	631763 4L	LAR	LDP	234	7280	46	66	
	HFD	632436 3L	LAR	LDP	234	7280	46	66	
	HFD	631629 8L	LAR	LDP	234	7280	45	64	
	FHD	645267 1L	LCC	LDP	234	5858	39	60	
	FHD	630369 2L	LCC	LDP	234	5858	43	62	
	FHD	645382 1L	LCC	LDP	234	5858	40	60	
0	FHC	629072 8L	LCC	LDP	234	5858	40	60	
1	HFD	643438 0L	LCC	LDP	234	5858	40	60	
2	FHD	628920 7L	LCC	LDP	234	5858	41	61	
3	FHC	628396 9L	LCC	LDP	234	5858	38	55	
4	FHC	628296 2L	LCC	LDP	234	5858	39	56	
5	HFD	632261 1L	LCC	LDP	234	5858	38	57	
6	FHD	628843 0L	LCC	LDP	234	5858	38	59	
7	HFD	631987 4L	LCC	LDP	234	5858	38	57	
8	HFD	632177 1L	LCC	LDP	234	5858	39	58	
9	FHD	645788 6L	LCC	LDP	234	5858	40	60	
10	HFD	631903 3L	LCC	LDP	234	5858	38	56	
11	FHD	628904 5L	LCC	LDP	234	5858	38	58	
12	FHD	628849 9L	LCC	LDP	234	5858	39	58	
13	FHD	630315 3L	LCC	LDP	234	5858	42	63	
14	HFD	632233 6L	LCC	LDP	234	5858	39	58	
15	HFD	632145 3L	LCC	LDP	234	5858	40	59	
16	HFD	631740 5L	LCC	LDP	234	5858	40	59	
17	GTC	631279 9L	LHA	LDP	327	7385	29	44	
18	GTC	631339 6L	LHA	LDP	327	7385	29	45	
19	GTC	631163 6L	LHA	LDP	327	7385	28	43	
20	GTC	631373 6L	LHA	LDP	327	7385	29	45	
21	GTC	631232 2L	LHA	LDP	327	7385	30	45	
22	GTC	631171 7L	LHA	LDP	327	7385	29	45	
23	PBC	631265 9L	LHA	LDP	327	7385	29	45	

Locos Tracionando	2
Vag+Ca+Equip+Lr	31
Ton Uteis	1127
Ton Brutas	1758
Ton Brutas Comp	1913

3.5 - CONSULTA POR TREM - SITUACAO DOS TRENS

TER 5 OUT 1993 10:13

Prefixo - TODOS

Fluxo/Trecho/Local - TODOS

Destino - TODOS

Trens - Circulando

Trem	Loc	Prt	Dst	Mv	Data	Ca	Vaz	Org	Lc	Lr	Eq	Tu	Tb	Tbc	M.Tku
WMN9210	LHS	LHS	LJL	V3	P050UT 08:45				1					0	
WMO0610	LFA	LFA	LRD	V3	P050UT 09:40	1	1		1				41	47	
WMO3909	LIA	LME	LRD	V3	P050UT 10:00				1					0	
WMO9010	LSP	LLS	LSP	L6	E050UT 07:35										
WPA0610	LTS	LTS	LCC	V3	E050UT 09:00				1						
WPA3610	LDV	LUS	LER	V3	E050UT 09:45				1						
WPE0610	LRF	LRF	LUS	D2	E050UT 09:10		4		1				53		
WPE2310	LIH	LIH	LUS	D2	E050UT 08:50				1		1		16		
WPE3210	LJM	LJM	LUV	V3	P050UT 08:35				1					0	
WPE3310	LJM	LJM	LUV	V3	P050UT 08:35				1					0	
WPE3510	LOD	LOD	LAP	V3	E050UT 08:00				1						
WPE3610	LUS	LUS	LAP	V3	E050UT 09:10				1						
WPE3809	LLH	LLH	LUS	C3	P050UT 08:00				1					0	
WPE4510	LIH	LIH	LUS	H0	P050UT 07:00				1					0	
WPF3809	LFO	LFO	LUS	H0	P050UT 07:00				1					0	
WPQ0610	LCX	LCX	LJR	V0	F050UT 06:30										
WPQ4210	LCA	LCA	LUS	V3	E050UT 07:55				1						
WVA0609	LUN	LUN	LPP	H0	P050UT 07:30		3		1				36	45	
WVA3509	LCZ	LCZ	LVL	H0	P050UT 07:05				1					0	
WVA4310	LHL	LHL	LBI	H0	P050UT 07:10				1					0	
WVA4609	LRC	LRC	LAN	H0	P050UT 07:15				1					0	
WVA7610	LUN	LUN	LML	H0	P050UT 06:20		2		1				27	31	
WVM3710	LMD	LMD	LBC	H0	P050UT 07:40				1					0	
WVM4510	LUN	LUN	LBC	H0	P050UT 08:15				1					0	

Total de Trens Enc/Supr/Canc 0

Total de Trens Prontos/Form 0

Total de Trens Circulando 69

Carros 12

Vagoes Vazios 218

Vagoes Carregados 556

Locomotivas Tracionando 89

Locomotivas Rebocadas 11

Equipamentos/Autos de Linha 1

Toneladas Uteis 24700

Toneladas Brutas 41796

Toneladas Brutas Compensadas 30460

Toneladas.km Uteis 4770

2.5

-

CONSULTA POR LOCAL - FROTA DO CLIENTE

TER 5 OUT 1993 10:16

Frota - 000 - Locomotivas / SR-5.

Veiculos	Loc	Trem	St	Perms	Estados	Dsv	Mrc	Despacho	Remt.	Dest.	Tu
904473	6L	LUU		39	00033						
904474	4L	LLS		44	00038						
904601	1L	LNC		39	01321						
904602	0L	LVV	KSF	9002	02	00008				LUS	
904603	8L	LAR	CCG	0509	02	00004				LUS	
904604	6L	LUS	PCE	0307	02	00012				LAP	
904605	4L	LRF	CLG	0210	02	00008				LIC	
904606	2L	LIC		01	00005						
904607	1L	LNC		39	03642						
904608	9L	LOR	JLG	0310	02	00004				LIC	
904609	7L	LIH	PLG	0110	02	00010				LIC	
904610	1L	LNC		39	01479						
904611	9L	LBN	PMG	0208	02	00004				LIC	
904612	7L	LOI		40	00162						
904613	5L	LNC		39	00025						
904614	3L	LOI		40	00011						
904615	1L	LRF	CLG	0210	02	00008				LIC	
904616	0L	LAP		01	00005						
904617	8L	LUS	PCE	0307	02	00012				LAP	
904618	6L	LOI		39	00034						
904619	4L	LIC		01	00001						
904620	8L	LOI		39	00641						
904621	6L	LAW	PCE	0209	02	00002				LAP	
904622	4L	LOR	JLG	0310	02	00004				LIC	
904623	2L	LNC		39	01321						
904624	1L	LIC	CCI	1110	05	00015				LCO	
904625	9L	LIC		01	00014						
904626	7L	LVV	KSF	9002	02	00008				LUS	
904627	5L	LAW	PCE	0209	02	00002				LAP	
904628	3L	LAR	CCG	0509	02	00004				LUS	
904629	1L	LAW	PCE	0209	02	00002				LAP	
904630	5L	LIH	PLG	0110	02	00010				LIC	
904653	4L	LIC		01	00005						
904654	2L	LNC		39	00193						
904655	1L	LOI		39	00027						
904656	9L	LAP		01	00005						
904657	7L	LUS	CLG	0708	02	00014				LIC	
904658	5L	LMI	CLC	1810	02	00002				LAP	
904659	3L	LAR	CCG	0509	02	00004				LUS	
904660	7L	LUS	PCE	0307	02	00001				LAP	
904661	5L	LIH	PLG	0110	02	00010				LIC	
904662	3L	LOI		40	00003						

==> Total no Patio: Veiculo(s) = 00163
 ==> Total no Trem : Veiculo(s) = 00075

Tu = 0000000
 Tu = 0000000

ANEXO 3 - TRIMTR

TRIMTR é um programa para coleta e visualização das coordenadas de TRIMBLE - Cycle - Printout em TEMPO REAL.

A linguagem de TRIMTR e suas rotinas são em 'C', nós utilizamos o Turbo C++, Versão 1.0 com opções tcc -ml -w trimtr.c graphics.lib

TRIMTR precisa :

-ascii.h	JM	
-gerald_cad.c	JM	
-itimer.c	JM	
-iserial.c		JM
-bgi.c	JM	
-afim_cad.c	JM	
-videocad.c	JM	
-bgi.h	JM	
-videocad.h	JM	
-afim_cad.h	JM	
-grafica.c	VB	
-iniciar.c		VB
trimtr.c	VB	

Antes do uso do programa SET BGI=d:\tc\bgi ou c:\tc\bgi !!!!!!!

Para utilizar o mapa básico, TRIMTR necessita no diretório d:\rffsa\mapa:

- um arquivo mapas.txt com os nomes de mapas,
- cada arquivo nomemapa.map, e
- cada arquivo nomemapa.opt.

TROCFORM cria o formato do mapa.

TRIMTR é um produto de Julio Menezes, Cláudia Pereira Krueger UFPr/Curitiba e Volker Böder IFE/Hannover.

*****JULHO **** 1993*****VERSÃO**1.1*****

Por Exemplo:

D:\RFFSA\MAPA\MAPAS.TXT

número	Nome na TRIMTR	Prefix de	*.map e *.opt
%i	%s	%s	(formato no C)
1	Parque_Iguaçu_(5km)	Iguaçu	
2	Parque_Iguaçu.-MorretesIgua_mor		
3	Parque_Iguaçu.-Veu_de_Noiva	Igua_vdn	
4	Alles.was.recht.ist	All5	

D:\RFFSA\IGUAÇU.MAP

latitude	longitude	h	sinal	texto(se sinal*)
%f	%f	%f	%s %s	(formato no C)
-25.529322	-49.229263	828	x FRI	
-25.528887	-49.228954	828	x FRI	
-25.528435	-49.228638	828	d FRI	
-25.527967	-49.228306	828	x FRI	
-25.527479	-49.227962	827	* parque_iguazu	
-25.526976	-49.227615	827	x FRI	
-25.526463	-49.227257	826	x FRI	
-25.525902	-49.226837	838	x FRI	
-25.525364	-49.226467	837	x FRI	
-25.524811	-49.226089	836	x FRI	

D:\RFFSA\MAPA\GUAÇU.OPT

%s	%s	%f	%s	%s	%f	(formato cm C)
minlat : -25.539736		maxlat : -25.492172				
minlon : -49.236923		maxlon : -49.202778				
número de coordenadas : 581						

Arquivo do TRIMTR

sinal	dia	tempo	latitude	longitude	h	hvel	course	pdop	sat
%c %s	%s		%f %f	%f %f	%f	%f	%f	%f	%f
TRIMBLE TEMPO REAL									
d	TUE	18:35:01	-25 27.0105	-49 13.9337	913	0.05	63.5	4.0	5
d	TUE	18:35:06	-25 27.0103	-49 13.9337	913	0.04	89.3	4.0	5
d	TUE	18:35:11	-25 27.0103	-49 13.9337	913	0.05	75.2	4.0	5
d	TUE	18:35:16	-25 27.0103	-49 13.9338	913	0.05	42.2	4.0	5
d	TUE	18:35:21	-25 27.0103	-49 13.9338	914	0.07	90.2	4.0	5
d	TUE	18:35:26	-25 27.0102	-49 13.9338	915	0.06	104.1	4.0	5
d	TUE	18:35:31	-25 27.0099	-49 13.9337	915	0.02	33.8	4.0	5
d	TUE	18:35:36	-25 27.0099	-49 13.9336	915	0.03	81.1	4.0	5
d	TUE	18:35:41	-25 27.0099	-49 13.9334	915	0.05	99.6	4.0	5
d	TUE	18:35:46	-25 27.0101	-49 13.9334	916	0.09	136.2	4.0	5

ANEXO 4 - TROCFORM

Transformações dos Formatos de TRIMBLE, TRIMTR, GEONAV, GEONAP

USAR: TROCFORM Opção <ARQUIVO_DE_FONTE >ARQUIVO_DE_ALVO

OPÇÃO: 0 LIMPA ARQUIVO A TRIMBLE Cycle_Printout

OPÇÃO: 1 TRIMBLE Cycle_Printouts TRIMTR

OPÇÃO: 2 TRIMBLE Cycle_Printouts NAV

* OPÇÃO: 3 TRIMBLE Cycle_Printouts MAPA

OPÇÃO: 4 TRIMTR NAV

* OPÇÃO: 5 TRIMTR MAPA

* OPÇÃO: 6 NAV MAPA

OPÇÃO: 7 NAP NAV

* OPÇÃO: 8 NAP MAPA

**OPÇÃO: 9 SEPARA TRIMTR para observações COM e SEM CORREÇÕES

* o programa faz novo arquivo MAXMIN.OPT necessário para mapa

** o programa faz novos arquivos COM.DIF e SEM.DIF
os novos arquivos são no modo APPEND

*****CPK / VB JULHO 1993*****

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ABIDIN, Hasanuddin Z.; WELLS, David E.; KLEUSBERG, Alfred. Some Aspects of "On the Fly" Ambiguity Resolution. *Proceeding Of Sixth International Geodetic Symposium On Satellite Positioning*, p.660 à 669, 1992.
- 2 ANDRADE, José Bittencourt de. NAVSTAR - GPS. Curitiba, 1988, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná.
- 3 AQUINO, Márcio Henrique Oliveira de. Improving GPS Position Accuracies by Orbit Relaxation. Maio, 1990. Dissertação em Philosophy in Engineering Surveying - University of Nottingham Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy.
- 4 BDLC - BASE STATION DATA LINK CONTROLLER. Technical Manual, rev.1.3. Dataradio, nov.1991.
- 5 BOBBE, Thomas. Aerial Surveying and Remote Sensing. *GPS WORLD*, p.18 à 22, July/Aug. 1992.
- 6 BURENS, J.A.J. Fleet Monitoring with GPS and Satellite Communications. *GPS WORLD*, p.42 à 46, Apr.1993.
- 7 CAMPOS, Milton de Azevedo; WANNINGER, Lambert. Limitations of GPS in Brazil Due to the Ionosphere. In: International Association of Geodesy General Meeting, 8 à 13 Aug., 1993, Beijin, China.
- 8 CAMPOS, Milton de Azevedo; BLETZKOW, Denizar; PACILÉO NETTO, Nicola; CINTRA, Jorge Pimentel; FONSECA JÚNIOR, Edvaldo Simões da; BUENO, Regis Fernandes; SCHAAL, Ricardo Ernesto; FORTES, Luiz Paulo Souto; PEREIRA, Katia Duarte. GPS Network in Brazil. In: International Association of Geodesy General Meeting, 8 à 13 Aug., 1993, Beinjin, China.
- 9 CHASE, Scott. The Mobile Satellite Communicatios Revolution. *Via Satellite*, p.26 à 30, Sept.1992.
- 10 DIFFERENTIAL/REFERENCE LOCATOR -OPERATION MANUAL. Technical Manual. TRIMBLE NAVIGATION LTDA, Jan, 1992.
- 11 FRIEDEN, Robert M. WARC-92, LEO's and the New Telecommuni-cations World Order. *Via Satellite*, p.44 à 50, Mar, 1993.
- 12 GEMAEL, Camil. Aplicações do Cálculo Matricial em Geodésia - Ajustamento de Observações. Curitiba, 1974, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná.

- 13 GEMAEL, Camil. Geodésia Celeste. Curitiba, 1991, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná.
- 14 GEONAP REFERENZ HANDBUCH. GEOSPACE Gesellschaft für Satellitengestützte Geodätische und Navigatorische Technologien MbH, 1992, Germany.
- 15 GIBBONS, Glen. On Track with GPS. GPS WORLD, p. 28 à 37, May/June, 1990.
- 16 HOFMANN, B.; WELLENHOF, H; LICHTENEGGER and COLLINS, J. Global Positioning System Theory and Practice. 2ed. Springer-Verlag Wien New York.
- 17 HOPPE, Thomas. Konzepte und Einsatzmöglichkeiten Operationeller Relativer GPS - Systeme (Differential GPS). Hannover, 1992. Diplomaufgabe - Institut für Erdmessung, Universität Hannover.
- 18 HOWES, Karen J.P. How Technology Drives Satellite Applications. Via Satellite, p. 44 à 48, Dec. 1992.
- 19 ICC-INTELLIGENT COMMUNICATION CONTROLLER. Technical Manual, TRIMBLE NAVIGATION LTDA.
- 20 JENSEN, Michael H. B. Quality Control for Differential GPS in Offshore Oil and Gas Exploration. GPS WORLD, p. 36 à 48, Sept. 1992.
- 21 KALAFUS, Rudolph M.; DIERENDONCK, Al J. Van; PEARLER, Nevin A. Special Committee 104 Recommendations for Differential GPS Service. Navigation : Journal of the Institute of Navigation. U.S.A., v. 33, n. 1, p. 26 à 41, Spring 1986.
- 22 KLEUSBERG, Alfred. Precise Differential Positioning and Surveying. GPS WORLD, p. 50 à 52, July/Aug. 1992.
- 23 KRAKIWSKEY, Edward J.; CHALMERS, Donald. Emergency Response with GPS in Oil and Gas Fields. GPS WORLD, p. 49 à 51, Apr. 1993.
- 24 LANGLEY, Richard B. Communications Links for DGPS. GPS WORLD, p. 47 à 51, May 1993.
- 25 LEDWITZ, Paul. Hits Transit Bull's-Eye with GPS. GPS WORLD, p. 29 à 34, Apr. 1993.
- 26 MONTGOMERY, Hale. LEO's Ships, GPS Follow-on and U.S. Airports. GPS WORLD, p. 14 à 18, May 1993.
- 27 MOTOROLA RADIUS M100/M200. Owner's Manual, Mobile Radios.
- 28 MRM - MOBILE RADIO MODEM. Technical Manual, rev. 1.3. Dataradio, Nov. 1991.

- 29 SCHMIDT, Andreas. Untersuchungen zur Optimierung eines Kalman-Filters bei der Positionsschätzung am Beispiel der Navigationssoftware GEONAV. Hannover, Jan. 1993. Diplomarbeit, Universität Hannover - IFE.
- 30 SEEGER, Günter. Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications. Berlin - New York, 1993.
- 31 SEEGER, Günter; Heimberg, Frank. The Development of a GPS - Based Real Time Differential Positioning System. DGPS'91, p. 334 à 342, Sept., 1991.
- 32 TALBOT, Nicholas C. High-Precision Real-Time GPS Positioning Concepts: Modeling and Results. Navigation: Journal of the Institute of Navigation. U.S.A., v.38, n.2, p.147 à 161, Summer 1991.
- 33 WÜBBENA, Gerhard. The GPS Adjustment Software Package GEONAP Concepts and Models. In: Proceeding Las Cruces, 1989, v.1, p.452 à 461.